НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАТИКИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації і управління

«На правах рукопису»

УДК 004.946

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ *О.А.Павлов*
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___”_____2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності *121 «Інженерія програмного забезпечення»*

на тему: «Мова опису об’єктів доповненої реальності»

Виконала: студентка VI курсу, групи *ІП-82мп*

Черненький Артем Юрійович _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник *ст. вик. Олійник Ю.О.* _____
(посада, науковий ступінь, , вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант *доц., к.т.н., Ліщук К.І.* _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент *доц. к.т.н. доц. Остапченко К.Б.* _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет *інформатики та обчислювальної техніки*
(повна назва)

Кафедра *автоматизованих систем обробки інформації та управління*
(повна назва)

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою*

Спеціальність *121 «Інженерія програмного забезпечення»*
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____ *О.А. Павлов*
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20*19* р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Черненькому Артем Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації *Мова опису об'єктів доповненої реальності*

науковий керівник дисертації *ст. вик. Олійник Ю.О.*.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "____" _____ 20 *19* р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації "____" _____ 20 *19* р.

3. Об'єкт дослідження *процес опису об'єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності*

4. Предмет дослідження *ефективність опису об'єктів доповненої реальності для збереження і передачі даних у мобільних застосунках доповненої реальності.*

5. Перелік завдань, які потрібно розробити *дослідити існуючі мови опису об'єктів доповненої реальності, виявити їх переваги і недоліки; виявити потреби, які має задовольняти сучасна мова опису об'єктів доповненої реальності; розробити мову опису*

об'єктів доповненої реальності, що задовольняє потребам і усуває недоліки; розробити програмне забезпечення, яке використовує створену мову опису об'єктів доповненої реальності; здійснити порівняння результатів застосування розробленої мови опису із існуючими мовами опису об'єктів доповненої реальності.

6. Перелік графічного матеріалу

1) Схема семантичної мережі сцени доповненої реальності

2) Схема семантичної мережі налаштувань світла у сцені доповненої реальності

7. Орієнтовний перелік публікацій *Робота із локацією у мобільних застосунках доповненої реальності; Оптимізація мов опису об'єктів доповненої реальності*

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання *"_01" вересня* 20*19* р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	*Формалізація результатів дослідження застосунків доповненої реальності*	*20.09.2019*	
2	*Порівняльний аналіз існуючих мов опису об'єктів доповненої реальності*	*10.10.2019*	
3	*Постановка проблеми мов опису об'єктів доповненої реальності на основі досілджень*	*20.10.2019*	
4	*Дослідження практичних рішень існуючих проблем мов опису об'єктів AR*	*25.10.2019*	
5	*Розробка оптимізованої мови опису об'єктів доповненої реальності*	*15.11.2019*	
7	*Вбудова оптимізованої мови доповненої реальності у застосунок, проведення експерименту*	*20.11.2019*	
8	*Оформлення документації*	*01.12.2019*	
9	*Подання роботи на попередній захист*	*05.12.2019*	
10	*Подання роботи на основний захист*	*16.12.2019*	

Студент _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми: необхідність зменшення навантаження на мобільний пристрій під час використання застосунку доповненої реальності шляхом оптимізації мови опису об'єктів доповненої реальності і її розширення.

Мета дослідження: створити оптимізовану мову опису об’єктів доповненої реальності, що задовольняє сучасним потребам застосунків.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані **наступні завдання**: дослідити існуючі мови опису об’єктів доповненої реальності, виявити їх переваги і недоліки; виявити потреби, які має задовольняти сучасна мова опису об'єктів доповненої реальності; розробити мову опису об'єктів доповненої реальності, що задовольняє потребам і усуває недоліки; розробити програмне забезпечення, яке використовує створену мову опису об’єктів доповненої реальності; здійснити порівняння результатів застосування розробленої мови опису із існуючими мовами опису об’єктів доповненої реальності.

Об’єкт дослідження: процес опису об’єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності.

Предмет дослідження: ефективність опису об’єктів доповненої реальності для збереження і передачі даних у мобільних застосунках доповненої реальності.

Методи дослідження: дослідження, аналіз, експеримент.

Наукова новизна: найбільш суттєвими науковими результатами магістерської дисертації є оптимізація швидкості серіалізації/десеріалізації об’єктів доповненої реальності розробленою мовою, а також доповнення мови.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропонований метод передачі даних може застосовуватися в застосунках доповненої реальності і покращити досвід використання користувача.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами: Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Методи та

технології високопродуктивних обчислень та обробки надвеликих масивів даних». Державний реєстраційний номер 0117U000924.

Апробація: Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 3 всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

Публікації: Наукові положення дисертації опубліковані в матеріалах 2 та 3 всеукраїнських науково-практичних конференцій молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

Ключові слова: ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНА МОВА, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК.

ABSTRACT

Topicality: the need to reduce the load on the mobile device while augmented reality applications are running by optimizing and extending the augmented reality objects description language.

Purpose of the research: to create an augmented reality objects description language that satisfies the modern application needs.

To achieve this goal, **the following tasks** were formulated: to explore the existing augmented reality object description languages, analyze their advantages and disadvantages; identify the needs that the modern augmented reality object description language must satisfy; develop a language for describing augmented reality that meets the needs and eliminates flaws; develop software that uses the created augmented reality object description language; compare the results of using the developed description language with existing augmented reality object description languages.

Object of research: the process of augmented reality object description in augmented reality mobile applications.

Subject of research: the effectiveness of describing augmented reality objects from the point of storage and transmittion in augmented reality mobile applications.

Research methods: research, analysis, experiment.

Scientific Novelty: the most significant scientific results of a master thesis are the optimization of the speed of serialization / deserialization of objects of augmented reality using a developed language, as well as an augmentation of language.

The practical value of the results is determined by the fact that the proposed method of data transmission can be used in augmented reality applications and improve the user experience.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics: The work was performed at the Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systemsof the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» within the topic «Methods and technologies of high-performance computing and processing of large data sets». State Registration Number is 0117U000924.

Testing: The main provisions of the work were reported and discussed at the 3rd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Information Systems and Management Technologies".

Publications: The scientific provisions of the dissertation are published in the materials of 2 and 3 all-Ukrainian scientific-practical conferences of young scientists and students "Information systems and management technologies".

Keywords: AUGMENTED REALITY, DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE, MOBILE APPLICATION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 10

ВСТУП 11

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ 13

1.1 Технології доповненої реальності 13

1.2 Сучасні проблеми технології доповненої реальності 14

1.3 ARML – стандарт опису об’єктів доповненої реальності 17

1.4 KML 20

1.5 KARML 21

1.6 Junaio XML 21

1.7 Порівняння мов опису об’єктів доповненої реальності 22

Висновки до розділу 24

2 МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗДІЛ 25

2.1 Необхідність оптимізації основи мови опису об’єктів доповненої реальності 25

2.2 Розповсюджені формати передачі даних, серіалізації та десеріалізації 25

2.3 Порівняння використання форматів 27

2.3 Семантичні мережі для опису мови 29

2.4 Об’єкти сцен доповненої реальності у семантичній мережі 29

Висновки до розділу 32

3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ 34

3.1 Критерій оптимізації 34

3.2 Оптимізована мова опису об’єктів доповненої реальності 34

Висновки до розділу 43

4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ 44

4.1 Огляд загальної архітектури системи 44
4.2 Огляд використаних інструментів 44
Висновки до розділу 47
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ 48
5.1 Тестування програмного забезпечення 48
5.2 Результати експерименту 50
Висновки до розділу 52
6 БІЗНЕС-ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ 53
6.1 Опис ідеї стартап-проекту 53
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту 55
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 55
6.4 Розроблення ринкової стратегії 65
6.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту 68
Висновки до розділу 71
ВИСНОВКИ 72
СПИСОК ДЖЕРЕЛ 74
ДОДАТОК А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ 78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AR – Augmented Reality, доповнена реальність.

ARML – Augmented Reality Markup Language, мова розмітки доповненої реальності.

KML – Keyhole Markup Language, мова розмітки Keyhole.

KARML – Keyhole Augmented Reality Markup Language, мова розмітки Keyhole доповненої реальності.

JSON – JavaScript Object Notation, нотація об’єктів JavaScript.

YAML – Yet Another Markup Language, ще одна мова розмітки.

TOML – Tom’s Obvious Markup Language, очевидна мова розмітки Тома.

CSV – Comma Separated Values, значення, розподілені комою.

XML – Extencible Markup Language, розширювана мова розмітки.

ProtoBuf – Protocol Buffers, буфери протоколів.

ВСТУП

Доповнена реальність (AR) – це інтерактивний досвід середовища реального світу, де об'єкти, що перебувають у реальному світі, підсилюються комп’ютерною інформацією, іноді через різні сенсорні модальності. AR можна визначити як систему, яка виконує три основні особливості: поєднання реального та віртуального світів, взаємодія в режимі реального часу та точна 3D-реєстрація віртуальних та реальних об'єктів. [30]

Магазини застосунків для найбільш популярних мобільних операційних систем iOS та Android містять все більше застосунків із використанням доповненої реальності. Оскільки все більше пристроїв підтримують доповнену реальність, сцени, що відображуються у застосунках, стають все складнішими, як і взаємодія із користувачем у таких застосунках. Коли розробкою і підтримкою застосунку займається велика команда, доцільно здійснювати роботу із побудовою сцен у доповненій реальності уніфікованим чином.

Існують мови опису об’єктів доповненої реальності на основі XML. У 2012 році було затверджено стандарт опису об’єктів доповненої реальності [7]. Проте технології доповненої реальності, можливості, які надають сучасні засоби роботи із доповненою реальністю на популярних мобільних платформах, методи клієнт-серверної взаємодії, які часто використовуються для передачі описів об’єктів доповненої реальності і власне мобільні платформи і можливості пристроїв було істотно вдосконалено з 2012 року.

Мета роботи – створити оптимізовану мову опису об’єктів доповненої реальності, що задовольняє сучасним потребам застосунків.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

– дослідити існуючі мови опису об’єктів доповненої реальності, виявити їх переваги і недоліки;

– виявити потреби, які має задовольняти сучасна мова опису об'єктів доповненої реальності;

– розробити мову опису об'єктів доповненої реальності, що задовольняє потребам і усуває недоліки;

– розробити програмне забезпечення, яке використовує створену мову опису об’єктів доповненої реальності;

– здійснити порівняння результатів застосування розробленої мови опису із існуючими мовами опису об’єктів доповненої реальності.

Об’єкт дослідження – процес опису об’єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності.

Предмет дослідження – ефективність опису об’єктів доповненої реальності для збереження і передачі даних у мобільних застосунках доповненої реальності.

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ

У даному розділі розглянуто типи технологій доповненої реальності, проблеми доповненої реальності у застосунках, розглянуто і проаналізовано існуючі мови опису об’єктів доповненої реальності.

1.1 Технології доповненої реальності

Сучасні фреймворки доповненої реальності використовують два найбільш розповсюджені підходи: розміщення об’єктів у доповненому просторі на основі маркерів і без використання маркерів на основі локації або інших засобів розпізнавання локації користувача у просторі.

Доповнена реальність із використанням маркерів

Доповнена реальність на основі маркера шукає конкретний малюнок зображення в оточенні та накладає на нього віртуальний об'єкт. Таким чином, камера пристрою AR буде постійно сканувати вхід і робити маркер – розпізнавання образів зображення, а потім створювати його геометрію та розміщувати віртуальний об’єкт. Геометрія віртуального об'єкта буде регулюватися геометрією та положенням маркера. Якщо камера втрачає з поля зору маркер, віртуальний об'єкт втрачається, а коли він знову з’являється, об'єкт розміщується знову. [29]

Доповнена реальність без використання маркерів

У безмаркерному підході доповненій реальності віртуальний об’єкт розміщується в геометрії, створеній методом SLAM (одночасна локалізація та картографування). Таким чином, програмне забезпечення запам'ятовує навколишнє середовище як 3D-модель. Отже, коли віруальний об'єкт розміщується в середовищі, він розміщується в його 3D-моделі. Тож навіть якщо камера втрачає вигляд, повернення віртуального об'єкта все одно знайдеться в тому самому місці. Також для розміщення використовуються сенсори пристрою – акселерометр, магнитометр, гіроскоп. Активно використовується GPS. [29]

1.2 Сучасні проблеми технології доповненої реальності

Існують різні ускладнення, з якими стикається організація розробки мобільних додатків доповненої реальності.

Обмежені можливості обладнання

Програми доповненої реальності можна запускати практично на будь-якому мобільному пристрої чи планшеті. Однак вони можуть непрацювати відповідно до бажань користувача. Ці програми дуже виняткові, тому для законної роботи потрібні життєво важливі деталі обладнання: датчики руху, процесори, екрани, камери, підключення тощо.

Наприклад, камери в смартфоні мають різноманітні можливості. Більш значна частина з них займає 2D знімки, що не ідеально підходить для формування 3D-гібридної реальності.

Крім того, існують деякі виняткові AR-пристрої, такі як Google Glass, Hololens, Meta 2 і так далі, що дозволяє надати користувачам більш глибоке уявлення про те, що може зробити технологія розширеної реальності.

Помилки, пов'язані з GPS

Показання GPS повинні мати точність до 6 метрів, щоб мати плавну цифрову карту та навігаційну систему. Незважаючи на отримувану точність геолокації було доведено, що використання GPS гальмує виконання застосунку AR та знижує заряд пристрою через інтенсивне навантаження.

Проблеми сумісності програмного забезпечення

Існують проблеми сумісності щодо управління мобільними додатками AR. Розробникам мобільних додатків потрібно складати нові набори для свого застосування. Ці набори повинні бути сумісні з моделлю смартфона, щоб вони могли працювати без проблем.

Інша проблема пов'язана з браузерами AR. Для програми AR потрібен браузер AR, щоб він міг працювати належним чином. Завдання полягає в тому, що більшість цих браузерів не ефективно побудовані і не підтримуються сучасними пристроями.

Перешкоди для багатокористувацького досвіду

Оскільки галузь AR ще розвивається, з’являються проблеми з простотою використання.

Програми AR створені для використання на мобільних пристроях, планшетах чи переносних гаджетах. Згодом люди, які публікують такі програми, можуть отримувати прибуток лише завдяки одному користувачеві.

Оскільки AR стає все більш доступним для широкої аудиторії, вимога до багатокористувацьких, спрощених та одноманітних зустрічей користувачів буде розвиватися. Розробники додатків повинні продумати підходи для розширення можливостей для користувачів, оптимізовано для роботи пристрою, приділяючи мало уваги кількості користувачів, а також навантаженню.

Безпека даних користувача

Хвилювання щодо конфіденційності та безпеки постійно розглядаються як головна тема аргументу стосовно нових керівних принципів, таких як розробка GDPR. Права власності та авторські права займають важливу складову обговорення серед уповноважених експертів у галузі приватності користувача.

Наприклад, користувачі програм можуть вигадувати свій світ під час участі в певній програмі. Однак, якщо в такому моменті з'явиться така дивовижна концепція, хто може бути власником? Чи буде у власність місце з користувачем або організацією, яка створила програму AR? Як правило, розуміється, що частина цих турбот може здатися неправдоподібною; однак, вони можуть спонукати до постійних і тривалих сутичок у суді на наступні роки.

Крім того, для максимально ефективної роботи мобільних програм AR потрібно, щоб GPS пристрою був активним. Такі дозволи породжують проблеми, пов'язані з потребами приватного життя користувача.

Оскільки AR виявляється все більш поширеним, адміністрація та місцеві фахівці будуть змушені зосередитися на такому процвітаючому нововведенні. Ідеальним випадком цього є пошкодження та смерть, спричинені популярною грою «Pokémon Go», яка вимагає адміністративного керівництва в такій галузі. Pokémon Go Tracker Death був створений з метою надання даних про людей, які

загинули при використанні програми AR. Дотримуючись відповідної адміністративної системи, можна перевірити розвиток, удосконалення та важливість домену.

Недоступність контенту

Ще одне величезне завдання для програм AR – це недоступність контенту. Це еквівалентно мобільному пристрою без завантаження на нього жодної програми.

Загальна кількість населення може незабаром отримати прибуток від таких інновацій, як HoloLens. Запит на творчий вміст високий серед користувачів, які хочуть насолоджуватися винятковою роботою AR. Однак відсутність контенту у цей час не відводить їх.

Контент відіграє величезну роль у успіху мобільних додатків. Це є причиною того, що ринок доповненої реальності розвивається ще поступово.

Громадське визнання та збереження

Незважаючи на те, що AR в цілому є середньо поширеною точкою інтересів у засобах масової інформації, технологію раз у раз називають однією з найпривабливіших інновацій, що розвиваються – її прийняття серед широкої громадськості за відсутності промовистого слова є помірним.

Це тому, що якість більшості контенту AR, як правило, недостатня. З цього випливає думка, що додатки для доповненої реальності – лише безглуздо включення для багатьох.

Інша сторона питання полягає в тому, що більшість людей, як правило, не знають про переваги AR у різних сферах. Це поки що розглядається як наукова фантастика серед значної частини можливих користувачів.

Далі, є питання збереження користувачів. Незалежно від поширеності інновацій AR, що постійно розвиваються протягом останніх років, є ще величезним завданням змусити користувача продовжувати використовувати AR-застосунки довший час. [10]

Таким чином, мова опису об'єктів AR повинна не поскладнювати проблеми, які створює доповнена реальність у застосунках, а оптимізувати фактори, які їх спричинюють.

1.3 ARML – стандарт опису об’єктів доповненої реальності

Існує стандарт опису об’єктів доповненої реальності – мова ARML 2.0. [7]

Мова доповненої реальності (ARML) – це стандарт даних для опису та взаємодії зі сценами розширеної реальності (AR). Він був розроблений в рамках Консорціуму відкритого геопросторового простору (OGC) спеціальною робочою групою зі стандартів ARML 2.0.

ARML складається з граматики XML [31] для опису місця та зовнішнього вигляду віртуальних об'єктів на сцені, а також прив'язки ECMAScript [12] для дозволу динамічного доступу до властивостей віртуальних об'єктів, а також обробки подій і наразі публікується у версії 2.0 . ARML зосереджується на візуальній доповненій реальності (тобто, камера пристрою, що підтримує AR, виступає основним виходом для сценаріїв розширеної реальності).

ARML побудований на загальній об'єктній моделі, яка дозволяє серіалізацію кількома мовами. В даний час ARML визначає серіалізацію XML, а також JSON серіалізацію для прив'язки ECMAScript. Об'єктна модель ARML складається з трьох основних понять:

А. Features представляють фізичний об'єкт, який слід доповнити.

Б. VisualAssets описують появу віртуального об'єкта в доповненій сцені.

В. Anchors описують просторове відношення між фізичним та віртуальним об'єктом.

Features. Визначення ознаки повторно використовується з мови географічної розмітки (GML [14]) та описує фізичний об'єкт, який слід доповнити. Фізичний об'єкт описується набором метаданих, включаючи ідентифікатор, ім'я та опис. У Feature є один або кілька Anchor.

Anchor. Якір описує розташування фізичного об'єкта в реальному світі. У ARML визначено чотири різні типи якорів:

А. Geometries

Б. Trackables

В. RelativeTo

Г. ScreenAnchor

Геометрії (Geometries) описують розташування об'єкта через набір фіксованих координат. WGS84 (широта, довгота, висота) використовується як система відліку координат за замовчуванням, інші довільні системи відліку координат можуть бути надані за потреби. ARML дозволяє здійснювати 0- (точкову), 1- (LineString) та двовимірну (багатокутну) геометрію. Якір геометрії повторно використовує синтаксис, як визначено в GML3. Як приклад, наступний фрагмент визначає місце розташування об’єкту.

```
<gml:Point gml:id="ferrisWheelViennaPoint">
 <gml:pos>
   48.216622 16.395901
 </gml:pos>
</gml:Point>
```

Рисунок 1.1 – Приклад позначення геометрії у ARML

Відстеження (Trackables) – це шаблони, які шукаються, розпізнаються та відстежуються на екрані відео, що надходить з камери пристрою. Існує велика кількість різноманітних технологій відстеження, включаючи QR-коди, природні особливості, 3D-відстеження та відстеження обличчя. Оскільки всі ці типи відстеження використовують різні алгоритми та технології, визначення Trackable абстрагується і розбивається на дві частини – Tracker та пов'язані з ними Trackables. Відстежувач описує технологію (або алгоритм), за допомогою якої слід відстежувати пов'язані з цим відстежувальні знаки, використовуючи URI, що ідентифікують алгоритм. Сама Trackable описує схему, яку алгоритм повинен шукати у відеопотоці.

На рисунку 1.2. наведено приклад опису відстеження.

```
<Tracker id="defaultImageTracker">
 <uri xlink:href="http://opengeospatial.org/arml/tracker/genericImageTracker" />
</Tracker>

<Trackable>
 <config>
  <tracker xlink:href="#defaultImageTracker" />
  <src>http://www.example.com/myMarker.jpg</src>
 </config>
 <size>0.20</size>
</Trackable>
```

Рисунок 1.2 – Приклад опису відстеження мовою ARML

Якір RelativeTo дозволяє визначити місцеположення відносно інших Якорів або позиції користувача. Перший дозволяє налаштувати сцену та розташування всіх включених віртуальних об'єктів на основі одного якоря, як відстежуваний, розміщений на столі. Останній дозволяє створювати сценарії, коли фактичне місцезнаходження користувача не має значення. Віртуальні об’єкти просто розміщуються навколо користувача, незалежно від його фізичного розташування.

На відміну від попередніх трьох типів прив’язки, ScreenAnchors не описують розташування у тривимірній віртуальній сцені. Натомість вони визначають область на екрані пристрою, враховуючи смуги стану тощо.

VisualAssets. VisualAssets описують появу віртуальних об'єктів у доповненій сцені. ARML дозволяє описати різні види VisualAssets, включаючи звичайний текст, зображення, вміст HTML [18] та 3D-моделі. VisualAssets можуть бути орієнтованими (або завжди автоматично стикатися з користувачем, або підтримувати певну статичну орієнтацію) та масштабованими. Додатково можуть бути застосовані умови видимості (тобто ассет видно на екрані лише в тому випадку, якщо відстань до користувача знаходиться в певних межах).

Приклад опису комплексного об’єкту мовою ARML наведено на рисунку 1.3.

```
<arml>
 <ARElements>

  <!-- register the Tracker to track a generic image -->
  <Tracker id="defaultImageTracker">
   <uri xlink:href="http://opengeospatial.org/arml/tracker/genericImageTracker" />
  </Tracker>

  <!-- define the artificial marker the Model will be placed on top of -->
  <Trackable>
   <assets>
    <!-- define the 3D Model that should be visible on top of the marker -->
    <Model>
     <href xlink:href="http://www.example.com/myModel.dae" />
    </Model>
   </assets>
   <config>
    <tracker xlink:href="#defaultImageTracker" />
    <src>http://www.example.com/myMarker.jpg</src>
   </config>
   <size>0.20</size>
  </Trackable>
 </ARElements>
</arml>
```

Рисунок 1.3 – Приклад опису об'єкту мовою ARML

1.4 KML

KML – мова на основі XML, яка використовується для географічної візуалізації, наприклад анотації карт, і також використовується для опису об’єктів доповненої реальності. KML спочатку була розроблена Keyhole Corp. для їх перегляду Землі на Keyhole. [23]

У 2004 році компанія Google Inc. придбала Keyhole Corp. Протягом наступного року Google [15] випустила нову версію програми перегляду землі під новою назвою: Google Earth [16] . Google продовжував розробку KML та подав специфікацію KML 2.1 до Відкритого геопросторового консорціуму. Поточна специфікація KML, версія 2.2, в основному базується на поданні Google, і була скоригована для узгодження з існуючими стандартами OGL, особливо GML (Geography Markup Language, у співпраці з Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO)).

Наведений нижче приклад на рисунку 1.1. містить документ KML з однією позначкою місця, тобто POI. Найбільш просте визначення POI складається з імені, опису та місця точки. На додаток до точки POI можна також визначити як багатокутник або 3D модель.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Placemark>
    <name>Zilverling</name>
    <description>
      Building 11 of the University of Twente
    </description>
    <Point>
      <coordinates>6.856869,52.239200,0</coordinates>
    </Point>
  </Placemark>
</kml>
```

Рисунок 1.4 – Приклад опису об’єкту мовою KML

1.5 KARML

Із лабораторії посилених середовищ, що входить до Інтерактивної школи технологій Інституту Джорджії, з'являється ще одне розширення AR до KML: KARML10. KARML є частиною архітектури KHARMA (KML / HTML Augmented Reality Mobile Architecture). [22]

Автори визначають відсутність варіантів стилізації позначок місця як найважливішого обмеження KML. KARML також дозволяє розширити розміщення міток. Можна було не тільки визначити місце розташування в абсолютних координатах, але і відносно іншої позначки місця чи самого користувача. Автори також додали можливість визначати маркери місць щодо функцій відстеження, наприклад. маркери або предмети. Фактичне відстеження залишається програмі AR.

KARML – це розширення до повної специфікації KML 2.2, включаючи розширення Google KML 11. Це розширення додає більш досконалі параметри стилізації, широку специфікацію екскурсійного перегляду та визначення звукових підказок до документів KML.

1.6 Junaio XML

Junaio XML використовується для AR-браузера Junaio. Нижче на рисунку 1.3. зображено структуру об’явлення об’єкту POI. [21]

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
   <results>
      <poi id="hello_world"
interactionfeedback="none">
         <name>Waaier</name>
         <description>UT Waaier.</description>
         <author>Thomas Visser</author>
         <l>52.239200, 6.856869</l>
         <maxdistance/>
         <mime-type>text/plain</mime-type>
         <thumbnail/>
         <phone />
         <mail/>
         <homepage />
      </poi>
   </results>
```

Рисунок 1.5 – Об'явлення POI мовою Junaio XML

Порожні теги у прикладі можна заповнити, щоб надати більше інформації клієнту. За допомогою Junaio XML, POI можна визначити як фрагмент тексту, зображення, відео- або аудіопотік або 3D-модель.

1.7 Порівняння мов опису об’єктів доповненої реальності

ARML є стандартом опису об’єктів AR і підтримує широкий спектр можливостей.

KML підтримує лише базову анотацію про місцеположення та не має специфічних особливостей AR, лише задовольняючи дві вимоги. Це широкий стандарт, але більшість його особливостей не стосуються цілей AR. Однак, наразі в KML може використовуватися лише мала частина для доповненої реальності, і значна частина цього не стосується.

KARML розширює повну специфікацію KML і тим самим включає використання 3D моделей. Однак у ньому відсутні додаткові теги щодо контактної інформації. У KARML є підтримка для природних локацій (R7). Само відстеження залишається в браузері AR, але дані KARML можуть використовуватися в середовищі, коли GPS [17] та компас недоступні. Недоліком KARML є те, що якщо браузер AR хотів би підтримувати повний KARML, він повинен підтримувати повну специфікацію KML, яка містить безліч невідповідних тегів або навіть тегів, значення яких незрозуміло в контексті AR.

Junaio XML відповідає найвищим вимогам з усіх обговорюваних мов XML. Проте браузер Junaio наразі не підтримується і розробки Junaio полягли у основу ARKit [6] в Apple [3]. Однак Junaio має деякі корисні функції AR, які цілком можуть бути впроваджені в інших методах обробки AR-об’єктів. Junaio XML не має можливості визначення стилю для групи POI. Недоліком Junaio XML є те, що він не використовує існуючі стандарти. Однак Junaio XML може бути модифікований для розширення до підмножини KML, при цьому підмножина більша за використаний підмножина ARML. [2]

Таблиця 1.1 – Порівняння виконання вимог у мовах опису об’єктів доповненої реальності

R#	Вимога	KML	ARML	KARML	Junaio XML
R1	Визначати POI з локацією, назвою та описом	+	+	+	+
R2	Визначати POI з номером телефону і адресою	-	+	-	+
R3	Визначати 3D-модель для POI	+	-	+	+
R4	Визначати декілька засобів відображення POI, які демонструються в залежності від відстані від користувача до локації об'єкта	-	-	-	+
R5	Визначати стиль для групи POI (світ/рівень/канал)	-	+	-	-
R6	Визначати інтеракції користувача і ефекти для POI	-	-	-	+
R7	Визначати локацію POI на основі маркеру або натурального опису	-	-	+	+
R8	Визначати анімацію поведінки 3D-моделі	-	-	-	+

Висновки до розділу

Було розглянуто основні підходи технології доповненої реальності.

Було розглянуто сучасні проблеми застосунків доповненої реальності і таким чином підтверджено необхідність оптимізації засобів розробки застосунків доповненої реальності. Не всі проблеми, нажаль, можна вирішити технічним способом, проте якість контенту, багатокористувацький досвід і доступність – те, на що можна повпливати шляхом оптимізації засобів розробки, у тому числі мови опису об’єктів доповненої реальності.

Було розглянуто 4 мови опису об’єктів доповненої реальності. Усі мови опису об’єктів доповненої реальності, що було розглянуто, використовують XML як основу.

2 МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗДІЛ

У даному розділі розглянуто вибір основи для оптимізованої мови опису об’єктів доповненої реальності, здійснено порівняння результатів продуктивності використання форматів опису даних.

2.1 Необхідність оптимізації основи мови опису об’єктів доповненої реальності

Доповнена реальність ставить нові основні проблеми, оскільки для належної роботи програми повинні постійно відчувати навколишнє середовище та повинні накладати штучні предмети на реальний світ. Таким чином, програмне забезпечення у реальному часі має обробляти велику кількість даних, отриманих з серсорів. У більшості додатків розширена реальність взаємодія здійснюється за допомогою жестів або іншого візуального розпізнавання, а це означає, що програмам потрібен певний доступ до відеопотоків аби вони мали можливість повноцінно функціонувати.

Як було зазначено, усі мови опису об’єктів доповненої реальності, що було розглянуто у розділі 1, використовують XML як основу.

У сучасних застосунках, що використовують доповнену реальність, такі операції як обчислення, обробка даних, збереження даних виконуються іншими компонентами системи, наприклад, хмарним сервером, для зменшення навантаження на мобільний пристрій.

Дані опису об’єктів доповненої реальності мають постійно передаватися мережею, тому формат передачі даних має бути оптимальним.

2.2 Розповсюджені формати передачі даних, серіалізації та десеріалізації

CSV добре підходить для зберігання великої кількості табличних даних у читаному для людини форматі. Він не підходить для зберігання об'єктів або хеш-таблиць, як структури даних. [11]

JSON – це повсюдний формат серіалізації даних, який може читати людина, що підтримується майже всіма популярними мовами програмування. Структури даних JSON тісно представляють загальні об'єкти на багатьох мовах. [19]

Protobuf – це двійковий протокол серіалізації, розроблений Google. Оскільки він серіалізується у двійковій формі, формат не читається людиною. Типи даних, які може містити Protobuf, чітко визначені і включають загальні типи, такі як рядки, цілі числа, числа з плаваючою точкою та дати. [24]

YAML - це суворий набір JSON, що означає, що ви можете розібрати JSON за допомогою YAML-парсера. Специфікація YAML набагато більша, ніж специфікація JSON. YAML дозволяє використовувати реляційні дані (посилання) за допомогою якорів. [32]

TOML – це новіший формат серіалізації, що читається людиною. Він досить схожий на YAML в тому, що спрямований на файли конфігурації, але прагне бути більш простим форматом. Недолік TOML – дещо багатослівний синтаксис, коли мова йде про вираження масиву об’єктів. [26]

У таблиці 2.1 наведено оцінку характеристик порівняння описаних мов і мови XML за параметрами стислості, можливості читати людині, підтримки інших мов, підтримки структур даних, швидкості, стандартизації. [1]

Таблиця 2.1 – Порівняння популярних форматів опису даних

Вимога	XML	CSV	JSON	Protobuf	YAML	TOML
Стислість	3/10	9/10	7/10	9/10	9/10	7/10
Читається людиною	5/10	5/10	5/10	1/10	7/10	9/10
Підтримка мов	9/10	9/10	9/10	7/10	6/10	6/10
Підтримка структур даних	9/10	3/10	6/10	8/10	10/10	9/10
Швидкість серіалізації/десеріалізації	7/10	10/10	9/10	9/10	2/10	6/10
Стандартизація	10/10	3/10	9/10	9/10	8/10	9/10

2.3 Порівняння використання форматів

Було здійснено порівняння швидкості серіалізації та десеріалізації форматів опису даних, а також порівняння обсягу пам’яті, необхідного для зберігання.

Для експерименту було використано мову програмування C++.

Під час експерименту було здійснено порівняння швидкості серіалізації/десеріалізації у вказаних форматах на 10000 об'єктах, 100000 об'єктах, а також було здійснено порівняня об'ємів файлів у вказаних форматах. Результати експерименту наведено на рисунках 2.1., 2.2. і 2.3.

Експеримент демонструє, що XML є найменш ефективним форматом для зберігання даних, а також поступається за швикістю серіалізації/десеріалізації форматам CSV, Protobuf та серіалізації JSON.

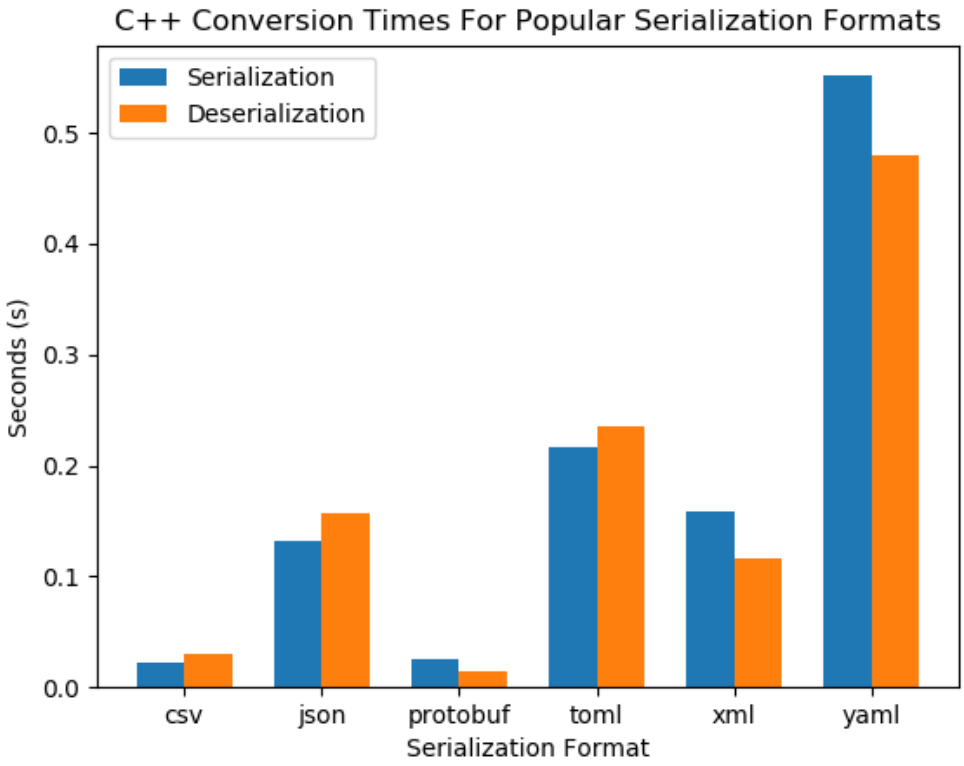


Рисунок 2.1– Час конверсії 10000 об’єктів у форматах опису даних

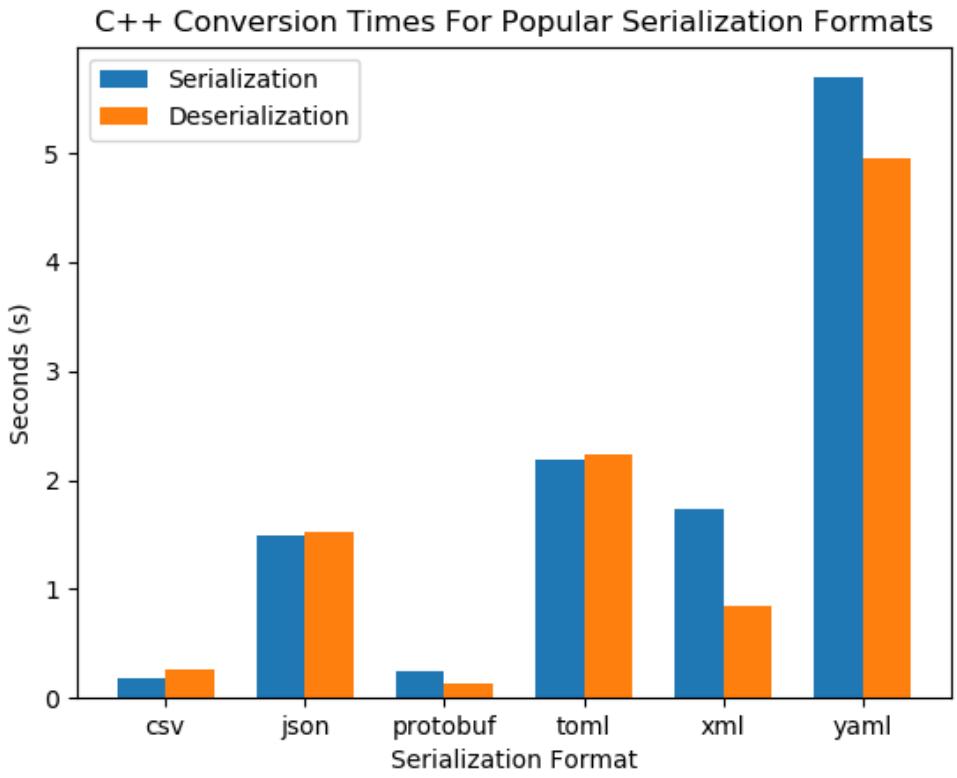


Рисунок 2.2 – Час конверсії 100000 об’єктів у форматах опису даних

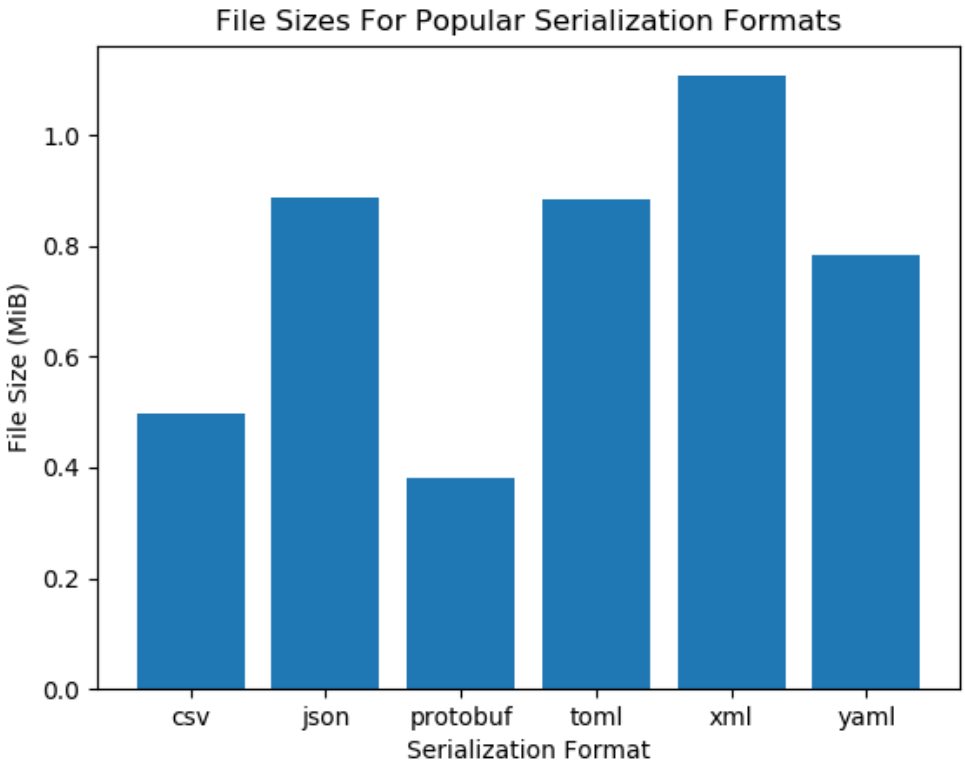


Рисунок 2.3 – Обсяг файлу, що зберігає 10000 об’єктів у форматі опису даних

2.3 Семантичні мережі для опису мови

Семантична мережа — інформаційна модель предметної області, що має вигляд орієнтованого графа, вершини якого відповідають об'єктам предметної області, а ребра задають відносини між ними. Об'єктами можуть бути поняття, події, властивості, процеси. [25]

Семантичні мережі виникли як спроба візуалізації математичних формул. Основним способом представлення для семантичної мережі є граф. Проте не варто забувати, що за графічним зображенням неодмінно стоїть строгий математичний запис, і що обидві ці форми є такими, що не конкурують, а доповнюють одна одну.

У математиці граф представляється множиною вершин V і множиною відносин між ними E. Використовуючи апарат математичної логіки, приходимо до висновку, що кожна вершина відповідає елементу предметної множини, а дуга – предикату. [34]

2.4 Об’єкти сцен доповненої реальності у семантичній мережі

Основні компоненти сцени, що відображується у доповненій реальності, можна представити як семантичні мережі. На рисунку 2.4. наведено спрощений опис семантичної мережі сцени. Більш детально його представлено у графічному матеріалі магістерської дисертації, документ “Схема семантичної мережі сцени доповненої реальності”.

На рисунках 2.5, 2.6, 2.7 і 2.8 наведено опис семантичних мереж складових сцени Об’єкту, Налаштувань мешу навігації, Менеджера гри, Налаштувань рендерингу відповідно. Опис налаштувань світла наведено у графічному матеріалі магістерської дисертації, документ “Схема семантичної мережі налаштувань світла у сцені доповненої реальності”.

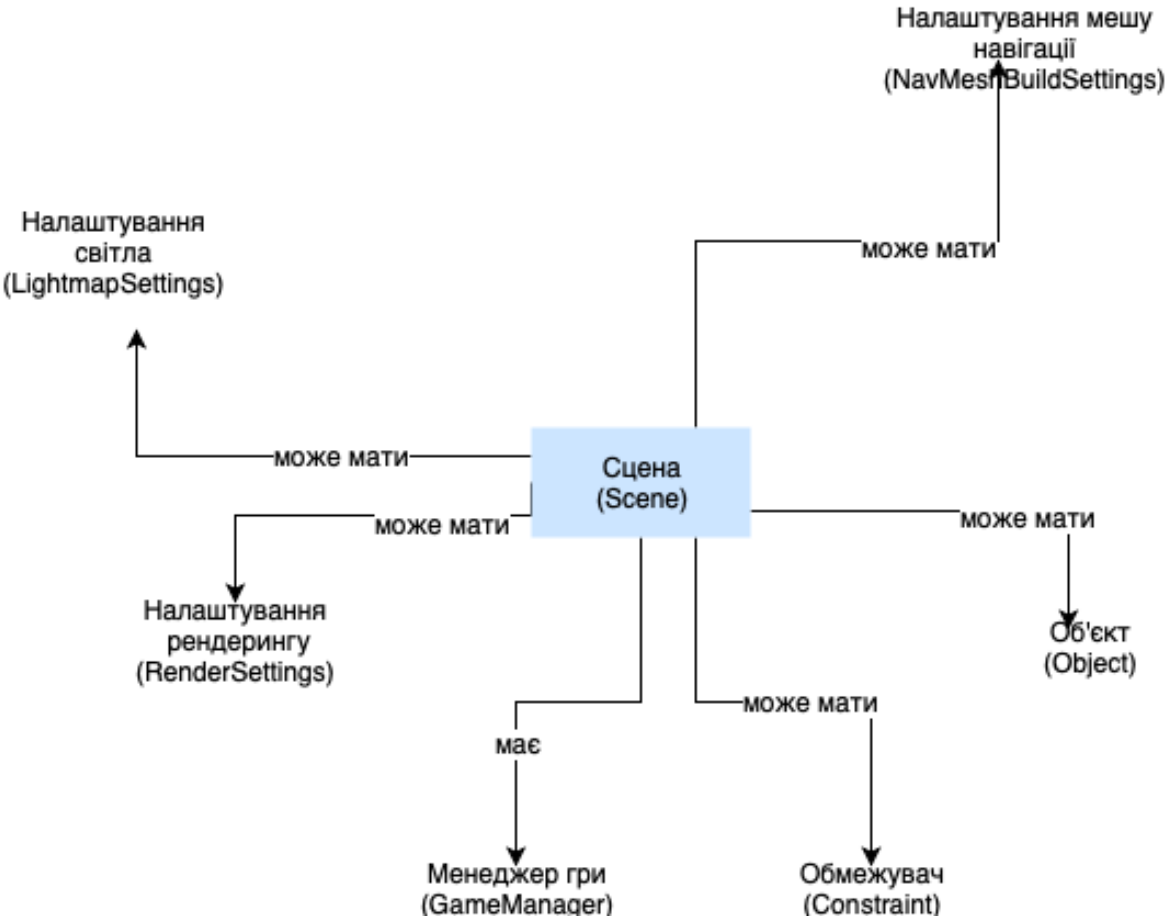


Рисунок 2.4 – Семантична мережа сцени доповеної реальності

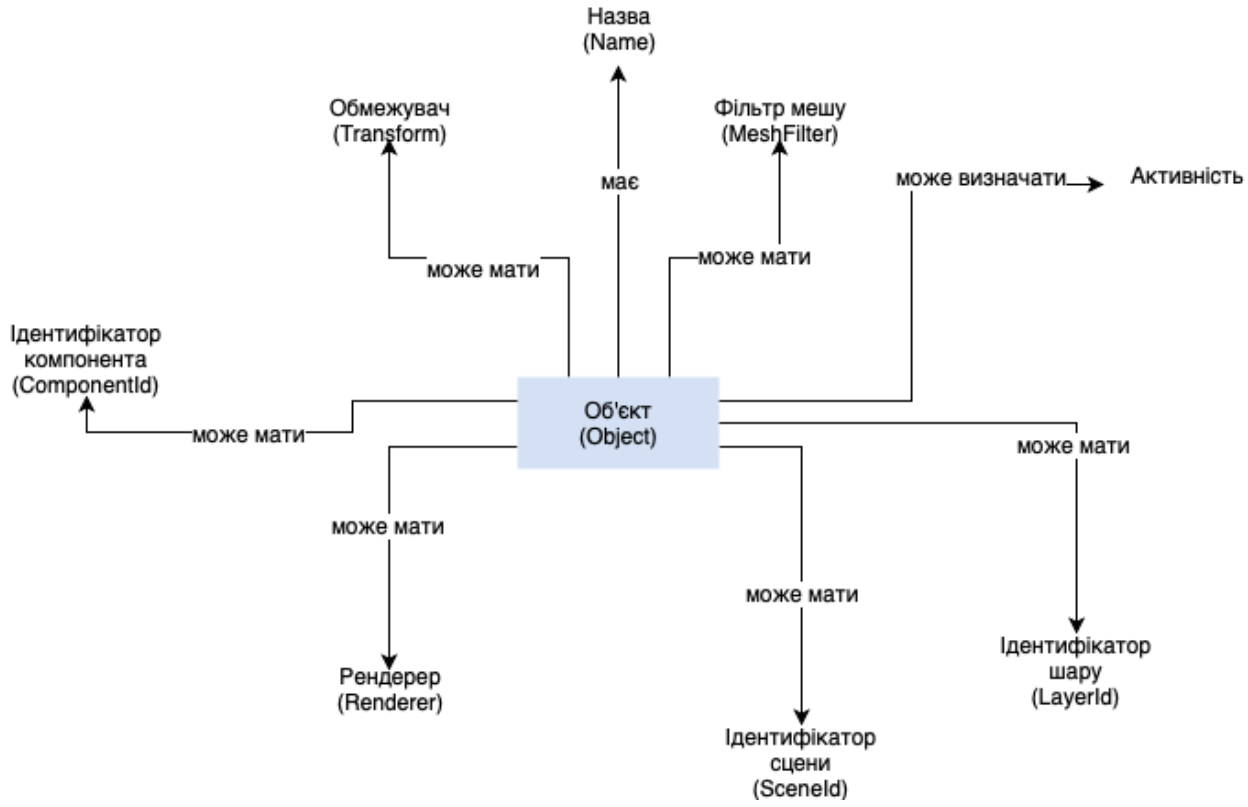


Рисунок 2.5 – Семантична мережа об’єкту сцени доповеної реальності

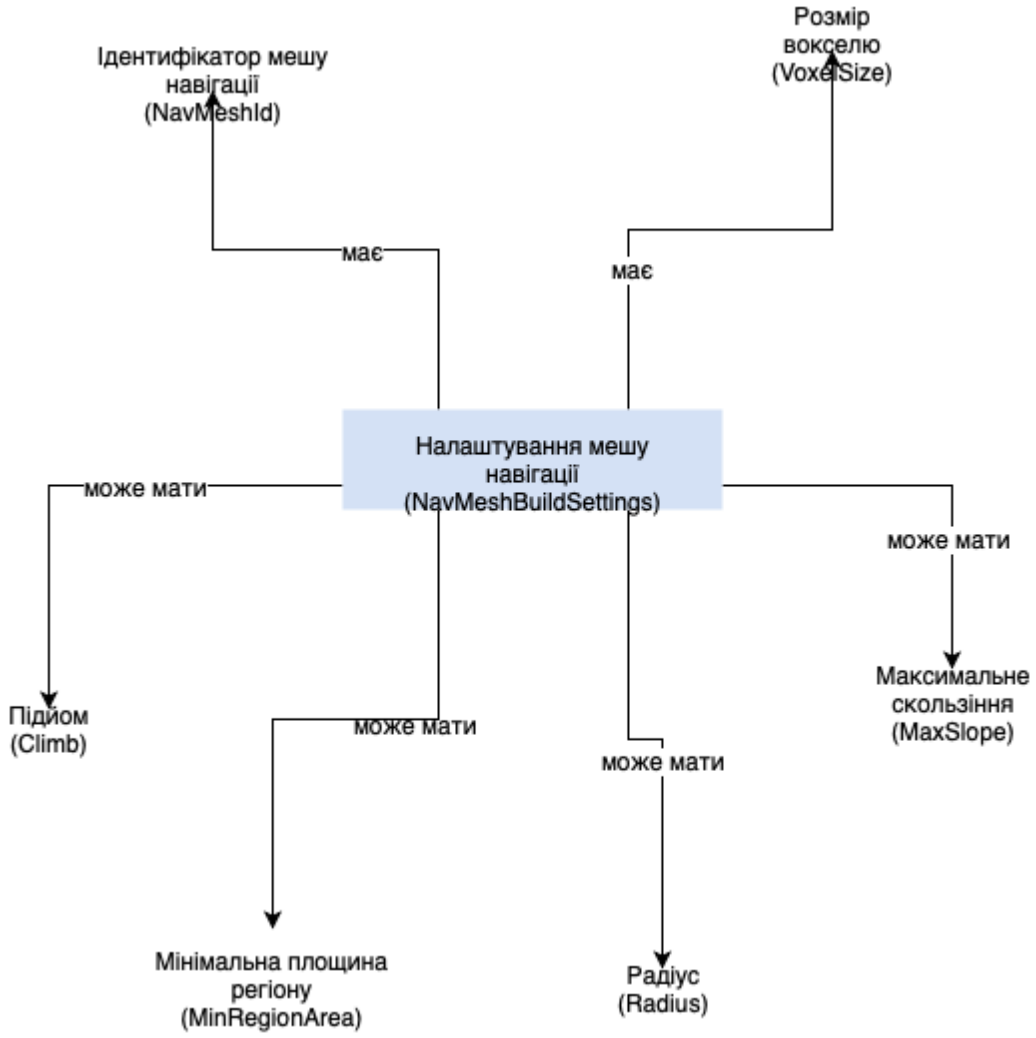


Рисунок 2.6 – Семантична мережа налаштувань мешу сцени доповеної реальності

Рисунок 2.7 – Семантична мережа менеджеру гри сцени доповеної реальності

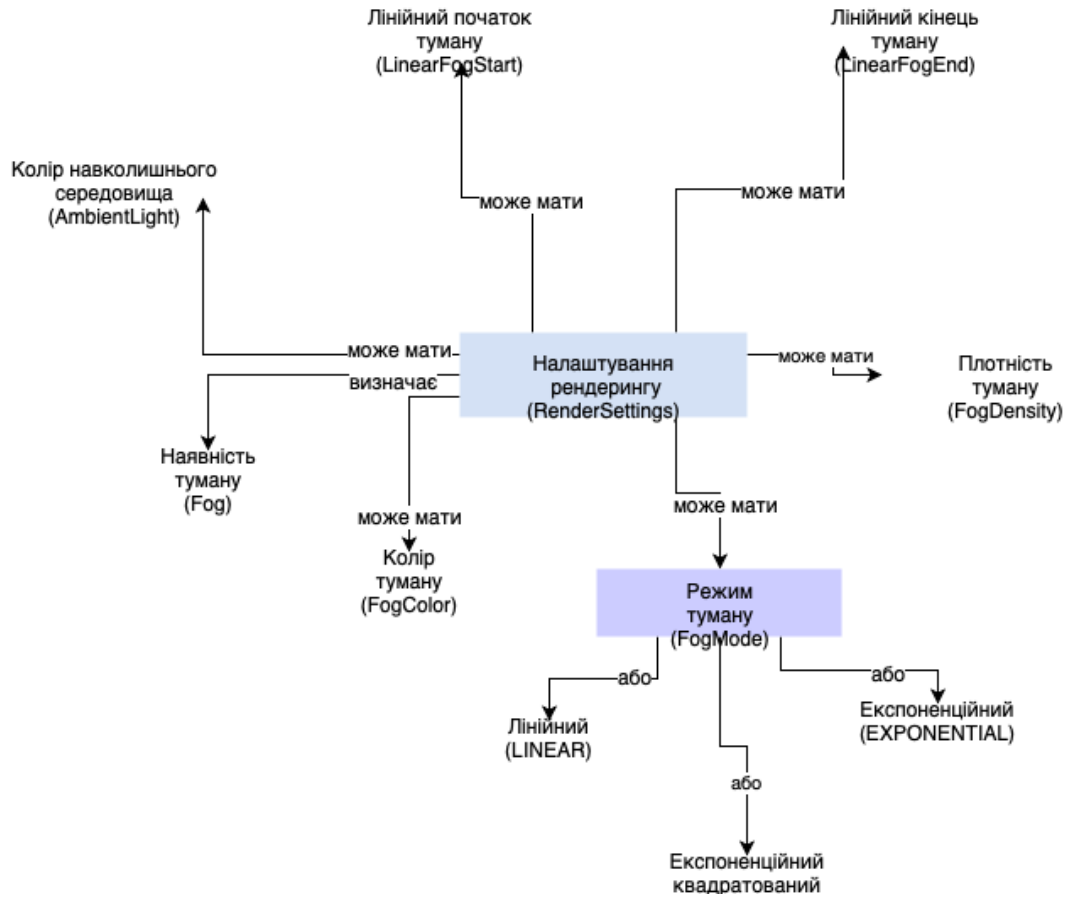


Рисунок 2.8 – Семантична мережа налаштувань рендерингу сцени доповеної реальності

Математичним засобом опису семантичних мереж сцену можна описати наступним чином :

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in GameManager\text{: містить}(Scene; x)$$

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in Constraint\text{: містить}(Scene; x) \mid !\,\text{містить}(Scene; x)$$

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in LightmapSettings\text{: містить}(Scene; x) \mid !\,\text{містить}(Scene; x)$$

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in Render\text{: містить}(Scene; x) \mid !\,\text{містить}(Scene; x)$$

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in Object\text{: містить}(Scene; x) \mid !\,\text{містить}(Scene; x)$$

$$\exists\, Scene \rightarrow \exists\, x \in NavMeshBuildSettings\text{: містить}(Scene; x) \mid !\,\text{містить}(Scene; x)$$

Висновки до розділу

Було здійснено порівняння сучасних форматів серіалізації та десеріалізації даних для виявлення найбільш ефективного. Експериментальним шляхом було доведено, що XML є менш ефективним для серіалізації та десеріалізації, ніж CSV, Protobuf та менш ефективним для серіалізації, ніж JSON.

Недоліком використання мови CSV для опису об’єктів доповненої реальності є складність опису деревовидної структури об’єктів, їх груп тощо.

Для оптимізації мови опису об’єктів доповненої реальності доцільно використовувати Protobuf як основу.

Було розглянуто семантичні мережі як засіб опису мови об’єктів доповненої реальності. Було розроблено семантичні мережі для опису сцени у доповненій реальності. Математичну основу у вигляді семантичної мережі можна використовувати для представлення в оптимізованій мові опису об’єктів доповненої реальності.

3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ

У даному розділі розглянуто методи оптимізації мови опису об’єктів доповненої реальності, розроблені на основі досліджень і обґрунтувань попередніх розділів.

3.1 Критерій оптимізації

Критерієм опимізації мови доповненої реальності обрано швидкість серіалізації та десеріалізації даних різної складності. Складність визначена вкладеністю структур даних.

Для практичного замірювання було обрано метод тесту продуктивності виконання серіалізації та десеріалізації даних у створеній мові доповненої реальності.

Тест продуктивності, або бенчмарк – контрольне завдання, необхідне для визначення порівняльних характеристик продуктивності комп'ютерної системи.

Тести продуктивності використовуються для порівняння продуктивності комп'ютерів, програм, алгоритмів і часто є критерієм для вибору компонента того чи іншого виробника. Крім того, успішне проходження ряду тестів є свідченням стабільності системи в штатному і у форсованому режимах. [33]

3.2 Оптимізована мова опису об’єктів доповненої реальності

За допомогою Protobuf описуються поширені об’єкти предметної області, що передаються між компонентами застосунку доповненої реальності, обладнанням та інструментами.

Об’єкти предметної області, що розповсюджено використовуються у застосунках доповненої реальності та розглядатимуться в даній роботі, включають:

- моделі об’єктів: форму, текстури та матеріали;
- сцени;
- обмежувачі моделей;
- розташування;

- об’єкти конфігурацій;
- анімації;
- медіафайли: відео, аудіо, зображення.

Для аналізу доцільності застосування Protobuf-схем як основи для опису об’єктів предметної області було взято як поширені аналоги, які є широко використовуваними у інструментах для розробки застосунків доповненої реальності, таких як Unity [27] та Unreal Engine [28], так і відсутні у популярних аналогах об’єкти, використання яких, тим не менше, є доцільним і розповсюдженим.

Наприклад, об’єкт Обмежувач (Constraint), в загальному виді, може бути описаний як:

```
message Constraint {
   required Item fromItem = 1;
   required Item toItem = 2;
   required Attribute attribute = 3;
   required Relation relation = 4;
}
```

Створення опису об’єкта обмежувача дає змогу стандартизувати відношення між відповідними сутностями. Так, наприклад, для створення відношення між двома сутностями в просторі, можна встановити їх відношення до сцени, на якій вони будуть відображені та між собою. Це буде вимагати створення лише таких об’єктів Обмежувачів:

- обмежувач “Сцена - Модель 1”;
- обмежувач “Модель 1 - Модель 2”.

Відношення “Сцена - Модель 2” не має необхідності у створенні, адже таке відношення буде транзитивно розраховане виходячи з відношення між Сценою та Моделлю 1 та Моделлю 1 та Моделлю 2.

Для опису простої 3D моделі або її частини, достатньо описати три її складові: форму, текстури та, опціонально, матеріал. Зазвичай, ці складові

надаються у оптимізованому двійковому форматі. Оптимальним підходом до відображення цих складових у мові є посилання на відповідні файли у двійковому форматі для уникнення зайвої участі у процесах серіалізації та десеріалізації.

Використовуючи такі засади для опису об’єктів доповненої реальності, спробуємо описати інші вищезгадані об’єкти.

Сцена — один з основних об’єктів у світі доповненої реальності. Опис об’єкта сцени це опис оточення, контейнера, в якому, загалом, і відбувається відображення доповненої реальності. В об’єкт сцени можна інтегрувати будь-які інші моделі, оточення, медіафайли; можна налаштувати світло, зовнішній вигляд сцени, встановити керуючі механізми, її перетворення, камеру користувача і багато чого іншого. Сцена є одним з найбільш комплексних об’єктів у світі як ігрової розробки, так і, відповідно, доповненої реальності. З метою розглянути найпоширеніші об’єкти доповненої реальності і їх опис, доцільно використовувати сцену, як об’єкт, який, власне, і створений з метою утримання цих об’єктів. Спробуємо описати основні налаштування сцени:

```
message Scene {
    optional RenderSettings renderSettings = 1;
    required GameManager gameManager = 2;
    optional LightmapSettings lightmapSettings = 3;
    optional NavMeshBuildSettings navMeshBuildSettings = 4;
    repeated Object object = 5;
    repeated Constraint constraint = 6;
}
```

Розглянемо складові сцени детальніше. RenderSettings містять значення для цілого ряду візуальних елементів сцени, як, наприклад, туман та навколишнє світло. Для прикладу, об’єкт RenderSettings може виглядати наступним чином:

```
message RenderSettings {
    required bool fog = 1;
    optional Color fogColor = 2;
```

```
    optional FogMode fogMode =  3;
    enum FogMode {
      LINEAR = 0;
      EXPONENTIAL = 1;
      EXPONENTIALSQUARED = 2;
    }
    optional double fogDensity = 4;
    optional double linearFogStart = 5;
    optional double linearFogEnd = 6;
    optional Color ambientLight = 7;
}
```

Опис об’єкту GameManager може бути цілком користувацьким та описувати параметри необхідні для управління сценою та подіями, що там відбуваються. Подібні об’єкти доцільно створювати динамічно на основі вимог до логіки сцени. Так як використання Protobuf-схем надає можливість створення динамічних описів об’єктів, доцільним є використання наступного запису, що дозволяє вказати id існуючого об’єкту, якщо об’єкт знаходиться в межах одного сендбоксу, або згенерованого нового об’єкту:

```
message GameManager {
    oneof manager {
      string id = 1;
      google.protobuf.Any custom = 2;
    }
}
```

Опис об’єкту LightmapSettings включає схему світла на сцені. Зазвичай у застосунках доповненої реальності використовується натуральне світло, оскільки синхронізація натуральних джерел освітлення та штучних, створених програмно, є надзвичайно трудомісткою задачею. Проте, якщо сцена вимагає

створення схеми освітлення та включення описових об’єктів Lightmap, базовий об’єкт можна описати наступним чином:

```
message LightmapSettings {
  repeated Lightmap lightmap = 1;
  repeated LightmapMode lightmapMode =  2;
  enum LightmapMode {
    DIRECTIONAL = 0;
    NONDIRECTIONAL = 1;
  }
  optional bool bakedColorSpace =  3;
  required bool useDualLightmapsInForward = 4;
  message LightmapEditorSettings {
    required double resolution =  1;
    required double lastUsedResolution = 2;
    required int32 textureWidth = 3;
    required int32 textureHeight = 4;
    required float bounceBoost = 5;
    required float bounceIntensity = 6;
    required bool quality = 7;
    required bool bounces = 8;
    required int32 finalGatherRays = 9;
    required double finalGatherContrastThreshold = 10;
    required double finalGatherGradientThreshold = 11;
    required int32 finalGatherInterpolationPoints = 12;
    required double aOAmount = 13;
    required double aOMaxDistance = 14;
    required double aOContrast = 15;
    required bool textureCompression = 16;
    required bool lockAtlas = 17;
  }
```

```
    optional LightmapEditorSettings editorSettings = 5;
}
```

Опис об’єкту NavMeshBuildSettings включає в себе опис налаштувань для створення об’єкту NavigationMesh — опису придатних до проходження або розміщення поверхонь. Для доповненої реальності процес створення такого об’єкту є надзвичайно важливим, адже він має бути синхронізований із навколишнім середовищем, інакше результуючий ефект доповненої реальності може бути зіпсований через некоректну інтерпретацію простору, його нахилу, розмірів та масштабу.

```
message NavMeshBuildSettings {
    required int32 navMeshId = 1;
    optional float climb = 2;
    optional float radius = 3;
    optional float maxSlope = 4;
    optional float minRegionArea = 5;
    required float voxelSize = 6;
}
```

Опис об’єкту Object включає в себе налаштування та компоненти сутностей, що вміщує в себе сцена. Дані сутності складаються з компонентів — розширень функціоналу даних об’єктів, таких як, наприклад, анімації чи сценарії, а також, здебільшого, але опціонально, мешів — об’єктів, що визначають форму моделі, та матеріалів чи текстур — об’єктів, що визначають зовнішній вигляд даного об’єкта.

```
message Object {
    repeated string componentId = 1;
    required string name = 2;
    optional bool isActive = 3;
    optional string layerId = 4;
```

```
    optional string sceneId = 5;
    repeated Constraint constraint = 6;
    optional MeshFilter meshFilter = 7;
    optional Renderer renderer = 8;
}
```

Варто зазначити, що медіаоб’єкти, а саме відео, аудіо, зображення, також будуть відображенні лише як окремі компоненти. Сам об’єкт медіа буде поданий у двійковому відображенні, як було зазначено вище. Тож опис об’єкта MediaComponent матиме наступний вигляд:

```
message MediaComponent {
    repeated byte component = 1;
    required string componentId = 2;
    required MediaType mediaType = 3;
    enum MediaType {
        VIDEO = 0;
        AUDIO = 1;
        IMAGE = 2;
    }
}
```

Опис об’єкту MeshFilter включає в себе опис мешу. Меш — це об’єкт, що повноцінно визначає форму об’єкта, частиною якого він є. Форма може набувати будь-якої складності. Це досягається за допомогою опису вершин та трикутників, з яких і складається форма цього об’єкту.

```
message MeshFilter {
    required Mesh mesh = 1;
    required Mesh sharedMesh = 2;
    required string baseComponentId = 3;
    message Mesh {
```

```
        repeated Vector uv = 1;
        repeated Vector uv2 = 2;
        repeated Vector uv3 = 3;
        repeated Vector uv4 = 4;
        repeated Vector uv5 = 5;
        repeated Vector uv6 = 6;
        repeated Vector uv7 = 7;
        repeated Vector uv8 = 8;
        repeated Vector3 vertices = 9;
        repeated int32 triangles = 10;
    }
}
```

Опис об’єкту Renderer – це опис всього, що стосується безпосереднього відображення об’єкту на екрані користувача. Це границі відображення, порядок відображення та матеріали, з яких складається об’єкт.

```
message Renderer {
    required Bounds bounds = 1;
    required bool isVisible = 2;
    repeated Material material = 3;
    repeated Material sharedMaterial = 4;
    optional int32 lightmapIndex = 5;
    optional Constraint probeAnchor = 6;
    required int32 sortingOrder = 7;
}
```

Опис об’єкту Material – це опис вигляду поверхонь об’єктів, яких він стосується. Це може бути як лише колір, так і повноцінна текстура.

```
message Material {
    optional Color color = 1;
```

```
    optional Texture texture = 2;
    optional float textureOffset = 3;
    optional float textureScale = 4;
}
```

Опис об’єкту Texture – це опис відповідних текстур об’єктів та їх початкової обробки, вимірів та налаштувань їх застосування до об’єкту.

```
message Texture {
    repeated byte bytes = 1;
    required FilterMode filterMode  = 2;
    enum FilterMode {
        POINT = 0;
        BILINEAR = 1;
        TRILINEAR = 2;
    }
    required int32 height = 3;
    required int32 width = 4;
    required TextureDimension dimension = 5;
    enum TextureDimension {
        UNKNOWN = 0;
        NONE = 1;
        ANY = 2;
        TEXTURE2D = 3;
        TEXTURE3D = 4;
        CUBE = 5;
        TEXTURE2DARRAY = 6;
        CUBEARRAY = 7;
        }
}
```

Висновки до розділу

Було описано критерій оптимізації мови опису об’єктів доповненої реальності. Було обрано і описано практичний метод перевірки критерію оптимізації.

На основі теоретичних досліджень і математичного розділу було створено засіб опису об’єктів доповненої реальності, який можна використовувати як мову опису об’єктів доповненої реальності.

Було описано приклади опису об’єктів розробленою мовою опису об’єктів доповненої реальності, наведено приклади, продемонстровано спосіб опису.

4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

У даному розділі було розроблено архітектуру програмного забезпечення і описано технічні рішення, що було використано для розробки програми.

4.1 Огляд загальної архітектури системи

Розроблювана система використовує архітектуру клієнт-сервер, у якій клієнт є кросплатформеним мобільним застосуванням, а сервер використовується у більшості для збереження даних і передачі даних на клієнт. У системі застосовано розроблену мову опису об’єктів доповненої реальності для перевірки гіпотези ефективності оптимізацій.

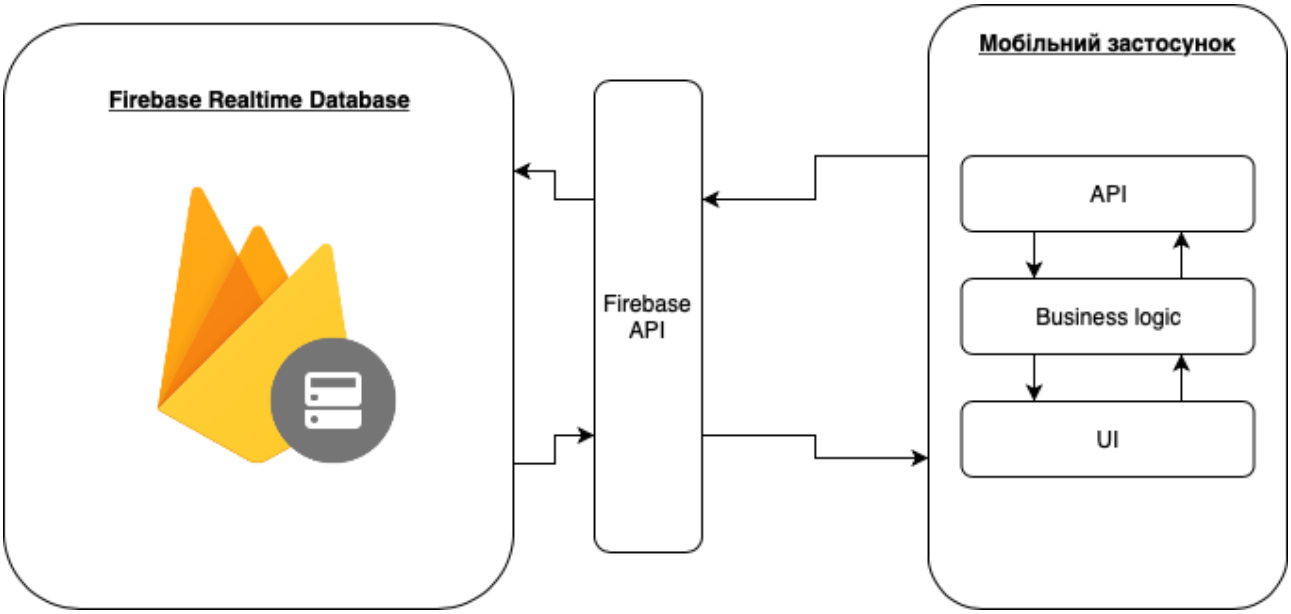


Рисунок 4.1 – Архітектура програмного забезпечення

4.2 Огляд використаних інструментів

Для створення мобільного застосунку у системі використано фреймворк Unity. [27]

Unity - це кросплатформений ігровий движок, розроблений Unity Technologies, вперше оголошений та випущений у червні 2005 року на Всесвітній конференції розробників Apple Inc. як ігровий движок Mac OS X. Станом на 2018 рік, движок був розширений для підтримки понад 25 платформ. Він може бути

використаний для створення тривимірних, двовимірних ігор, а також віртуальної реальності та ігор з доповненою реальністю. [9]

Unity має декілька можливостей для вбудови досвіду доповненої реальності. Найпопулярнішими з таких є використання ARCore SDK для Unity, використання ARKit SDK для Unity або використання AR Foundation.

Було вирішено використовувати фреймворк AR Foundation.

AR Foundation дозволяє розробникам працювати з платформами доповненої реальності кросплатформеним способом в Unity.

AR Foundation - це набір MonoBehaviours і API для роботи з пристроями, які підтримують такі концепції:

– відстеження навколишнього світу: розробник може відстежувати положення та орієнтацію мобільного пристрою у фізичному просторі;

– виявлення площини: виявлення горизонтальних і вертикальних поверхонь;

– виявлення feature point;

– точки орієнтиру: довільне положення та орієнтація, яку відстежує пристрій;

– оцінка світла: оцінка середньої колірної температури та яскравості у фізичному просторі;

– проби навколишнього середовища: засіб для створення кубічної карти для зображення певної області фізичного середовища;

– відстеження обличчя: виявлення та відстеження облич людини;

– відстеження зображень: виявлення та відстеження 2D зображень;

– відстеження об'єктів: виявлення 3D-об'єктів. [4]

У таблиці 4.1. здійснено порівняння ARFoundation і ARCore [5] та ARKit.

Таблиця 4.1 – Порівняння фреймворків для побудови AR-досвіду у Unity

Фреймворк	AR Foundation	Google ARCore SDK для Unity	Unity ARKit плагін
Короткий опис	AR Foundation здійнсює обгортку ARKit та ARCore на шарах низькорівневого API у повноцінний фремворк і включає додаткові функції, такі як менеджмент життєвого циклу AR і MonoBehaviour для репрезентації виявлених особливостей в навколишньому середовищі	SDK надає нативне API для всіх базових можливостей AR, які підтримує ARCore і здійснює портування їх у Unity для мобільної платформи Android.	Плагін для побудови застосунків з ARKit у Unity, яке портує API з мови Objective-C у мову C#. Надає допоміжні скрипти і утиліти для використання обох камер iOS-пристроїв для реалізації досвіду доповненої реальності.

Для збереження даних система використовує хмарний сервіс Firebase. [13]. Firebase пропонує декілька сервісів для збереження даних – Firebase Firestore та Firebase Realtime Database. Сервіси є схожими, проте відрізняються у особливостях структуризації даних, що зберігаються. Було вирішено

використовувати Firebase Realtime Database, оскільки рішення є більш стабільним.

Висновки до розділу

У результаті даного розділу було розроблено архітектуру системи, наведено відповідні схеми.

Було описано вибір технологій для реалізації програмного забезпечення і експерименту із застосуванням оптимізованої мови опису об’єктів доповненої реальності. Для реалізації клієнтського застосунку було використано Unity і фреймворк AR Foundation, для реалізації серверного застосунку було використано Firebase.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

У даному розділі описано експериментальне дослідження ефективності розробленої мови опису об’єктів доповненої реальності, порівняння результатів перевірки критерію ефективності із відповідними результатами для мови-стандарту ARML.

5.1 Тестування програмного забезпечення

Для тестування програмного забезпечення було розроблено тест-сценарії, які описано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Тестові сценарії для експериментальної перевірки методів оптимізації передачі даних

Сценарій тестування	Кроки тестування	Очікуваний результат
ТС-1: Серіалізація / десеріалізація 10000 об’єктів із рівнем вкладеності 1 в ARML.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 10000 об’єктів із мови ARML у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням мови ARML.
ТС-2: Серіалізація / десеріалізація 100000 об’єктів із рівнем вкладеності 1 в ARML.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 100000 об’єктів із мови ARML у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням мови ARML.

Продовження таблиці 5.1

Сценарій тестування	Кроки тестування	Очікуваний результат
ТС-3: Серіалізація / десеріалізація 10000 об’єктів із рівнем вкладеності 3 в ARML.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 10000 об’єктів із мови ARML у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням мови ARML.
ТС-4: Серіалізація / десеріалізація 100000 об’єктів із рівнем вкладеності 3 в ARML.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 100000 об’єктів із мови ARML у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням мови ARML.
ТС-5: Серіалізація / десеріалізація 10000 об’єктів із рівнем вкладеності 1 у створеній мові.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 10000 об’єктів із створеної мови у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням створеної мови.
ТС-6: Серіалізація / десеріалізація 100000 об’єктів із рівнем вкладеності 1 у створеній мові.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 100000 об’єктів із створеної мови у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням створеної мови.

Продовження таблиці 5.1

Сценарій тестування	Кроки тестування	Очікуваний результат
ТС-7: Серіалізація / десеріалізація 10000 об’єктів із рівнем вкладенності 3 у створеній мові.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 10000 об’єктів із створеної мови у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням створеної мови.
ТС-8: Серіалізація / десеріалізація 100000 об’єктів із рівнем вкладенності 3 у створеній мові.	Замірити час серіалізації / десеріалізації 100000 об’єктів із створеної мови у об’єкти доповненої реальності	Отримано час серіалізації / десеріалізації об’єктів із використанням створеної мови.

5.2 Результати експерименту

Результати виконання тестових сценаріїв продемонстровано у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати виконання тестових сценаріїв

Тестовий сценарій	Час виконання
ТС-1	0.12
ТС-2	0.85
ТС-3	0.26
ТС-4	1.04
ТС-5	0.015
ТС-6	0.13
ТС-7	0.03
ТС-8	0.15

На рисунках 5.1 і 5.2 наведено порівняння відповідних сценаріїв виконання у часі.

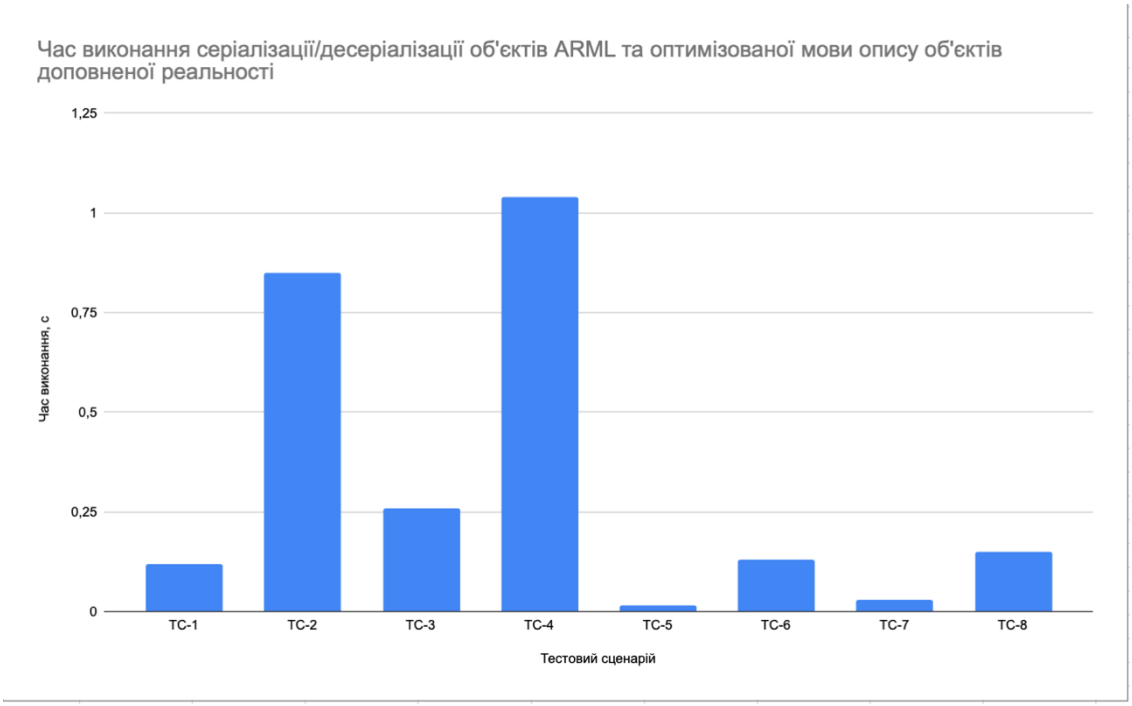


Рисунок 5.1 – Час виконання тестових сценаріїв

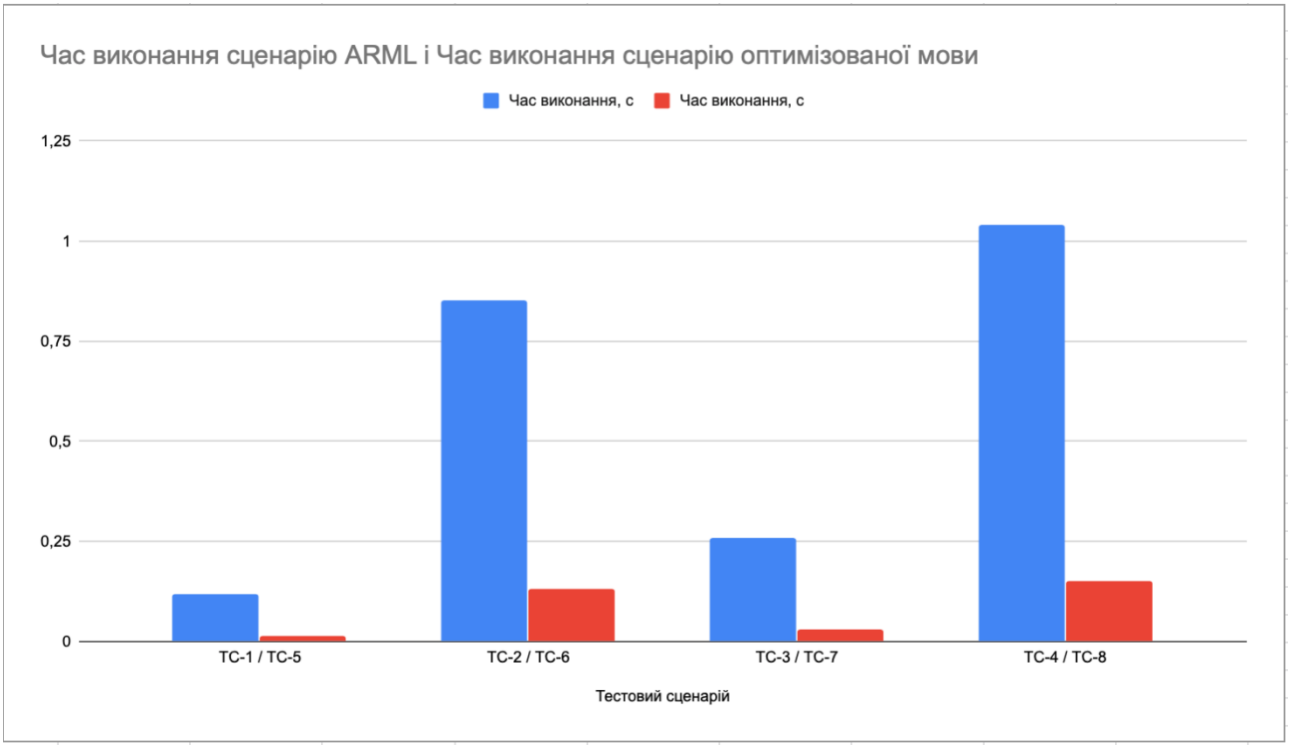


Рисунок 5.2 – Час виконання тестових сценаріїв у відповідному порівнянні

Висновки до розділу

Було проведено експериментальне дослідження ефектиності використання запропонованої мови доповненої реальності. Було здійснено порівняння ефективності зі стандартом опису об’єктів доповненої реальності – мовою ARML. Використання оптимізованої мови на базі ProtoBuf надає приріст швидкості серіалізації/десеріалізації у порівнянні з ARML в середньому у 6-8 разів.

Емпіричним шляхом було продемонстровано ефективність швидкодії проектованої мови доповеної реальності.

6 БІЗНЕС-ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

У даному розділі описано план практичного використання розробки.

6.1 Опис ідеї стартап-проекту

Ідея стартап-проекту із використанням мови опису об’єктів доповненої реальності – це кросплатформений застосунок-гра у доповненої реальності для дітей. Концепція побудована навколо створення маршрутів містом і всередині будівель, додавання інтерактивного контенту на точки цього маршруту. Користувач застосунку може таким чином пересуватися містом і будівлею без втрачання досвіду доповненої реальності, бачити медіа-контент на точках інтеракції, грати в ігри у доповненії реальності.

Результати аналізу ідеї представлені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка кросплатформеного мобільного застосунку-гри доповненої реальності для дітей	1. Квести містом	Гейміфікація взаємодії із містом, закладами міста
	2. Квести у будівлях	
	3. Освітній контент і ігри у доповненій реальності	Гейміфікація освітніх процесів
	4. Інтерактивна взаємодія з об'єктами навколишнього світу	Дитяча аудиторія буде більше проводити час на вулиці, ніж за комп'ютером
	5. Налаштування контенту маршрутів	

Аналогічні мобільні застосунки не мають функціоналу доповненої реальності протягом всього використання застосунку, обмежуть доповнену реальність, наприклад, під час пересувань користувача, і зазвичай обмежуються демонстрацією інформації на передвизначених маркерах. Проектована система пропонує протилежний підхід, який зможе дійсно зацікавити користувача дитячої аудиторії і затримати користувача в застосунку.

Доцільно провести аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів.

Результат аналізу у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Визначення характеристик ідеї продукту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		Слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S) сторони		
Назва продукту	Kydze	AR Kid's Kit			
Операційна система	Android	Android		x	
Системні вимоги	Android 4.1+	Android 4.1+		x	
Мови програмування	Java	Java		x	
Необхідність встановлення додаткового ПЗ	Необхідне встановлення ARCore	Необхідне встановлення ARCore	x		

Розглянуті застосунки-конкуренти є навчальними проргамами для дітей із використанням доповненої реальності. Вони працюють лише з вбудованими об’єктами і з вбудованими сценаріями навчання. Застосунки не пропонують переміщення користувача і постійного AR-досвіду. Також застосунки є

розрахованими на певний вік дитини. Проектована система навпаки пропонує активний досвід використання і інтерактивне навчання із повністю конфігурованим контентом, який міг би зацікавити користувача будь-якого віку.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Для проведення технічного аудиту ідеї проекту, потрібно провести аудит технологій, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. І для початку потрібно визначити можливість технологічної здійсненності проекту. Результат представлений у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології для реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розробка кросплатформеного мобільного застосунку-гри доповненої реальності для дітей	Мова програмування C#, кросплатформена розробка мобільного застосунку з Unity, AR Foundation, Firebase Realtime Database для зберігання файлів.	Наявні	Доступні на основі підписки

Обрані технології доступні, не потребують доробки, отримуються на основі підписки та частково безкоштовно та надають усі необхідні можливості для реалізації поставленої задачі.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із

урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Для цього спочатку проводиться аналіз попиту (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Загальна потреба в продукції	Продукція могла б зацікавити цільову аудиторію
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	До 100 000 завантажень застосунку на платформах iOS і Android
Ціна одиниці продукції	Безкоштовно, здійснюється оплата за додаткові навчальні пакети
Річні обсяги випуску в вартісних показниках	До $100 000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Пристрої, що підтримують AR, базові навики користування мобільним пристроєм
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Застосунок має відповідати всім нормам застосунків для дітей, зокрема нормам використання особистих даних
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	75%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Потенційним клієнтом є в цілому дитяча аудиторія різних країн світу, без суттєвих вікових та мовних обмежень.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Результати представлені у таблицях 6.5 та 6.6 відповідно.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 6.8) - за моделлю п’яти сил М. Портера, яка вирізняє п’ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

– конкурент, що вже є у галузі;

– потенційні конкуренти;

– наявність товарів-замінників;

– постачальники, що конкурують за ринкову владу;

– споживачі, які конкурують за ринкову владу.

Таблиця 6.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Поява конкурентів	Можлива поява конкурентів, які спроможуться створити повний продукт. Можлива поява більш дешевих продуктів.	Зменшення ціни з підвищенням якості при цьому, розробка удосконалень, розширення функціоналу, розробка нових маркетинг-проектів.
Зміни тенденцій ринку	Можлива ситуація, в якій з’явиться більш досконала програмна система від конкурентів, які значно довше на ринку.	Розробка нових сучасних необхідних удосконалень, тобто додання або заміна старого функціоналу на можливості розрахунку нових параметрів.

Продовження таблиці 6.5

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Зниження репутації компанії	Можлива ситуація, коли конкуренти спроможуться на більший попит.	Зміна партнерів, заключення нових контрактів, проведення рекламних та промо-акцій.
Економічний спад	Відсутність попиту на товар компанії через економічну складову.	Збільшення обсягів продажів, зменшення ціни; зміна цільової аудиторії.

Таблиця 6.6 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Невелика кількість конкурентів	На ринку на сьогоднішній день значна кількість конкурентів, проте їх програмні продукти в переважній більшості вузько спеціалізовані, мають іншу локалізацію та не мають функціоналу проектованої системи.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості.
Відповідні тенденції ринку	ІТ-ринок на сьогоднішній день потребує, а відповідно і надає всі можливості для впровадження систем, які надаватимуть користувачам можливість активного навчання в доповненій реальності.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості, додавати новий функціонал.

Продовження таблиці 6.6

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Можливість побудови власної репутації	Новий «гравець» на ринку має всі можливості для побудови власної репутації з «чистого листка»	Пошук замовників, можливих покупців створеного продукту, розширення бази замовників. Зарекомендувати себе, як надійну компанію. Можливо на вигідних умовах співпраці.

Надалі проводиться аналіз пропозиції – визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 6.7): визначаються тип можливої майбутньої конкуренції та її інтенсивність, рівень конкурентоспроможності за рівнем конкурентної боротьби, видами товарів і галузевою ознакою.

Таблиця 6.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
Тип конкуренції	Залежить від кількості конкурентів та якості надання ними послуг у порівнянні за послугами компанії.	Покращення власного продукту через зниження ціни та підвищення якості.

Продовження таблиці 6.7

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
За рівнем конкурентної боротьби	Локальна конкуренція на вітчизняному ринку, світова конкуренція.	На світовому ринку існують конкуренти, більшість з яких не має подібного функціоналу реалізованим. Перспектива – вихід на міжнародний рівень.
За галузевою ознакою	Загальногалузева Продукт може бути використаний у різних сферах діяльності	Є можливість розширювати використання проектованого застосунку і інноваційного продукту у будь-яких сферах, де застосовується доповнена реальність.
Конкуренція за видами товарів	Марки-конкуренти Створений товар може мати конкурентів, які пропонують аналогічний товар	Зниження ціни, розширення функцій

Продовження таблиці 6.7

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
За характером конкурентних переваг	Цінова Важливо за скільки продається товар, та скільки з нього прибутку	Можливе підвищення ціни на новий функціонал, зниження ціни на старі версії підписки для заохочення покупців у порівнянні з цінами конкурентів.
За інтенсивністю	Марочна Можуть з’являтись конкуренти.	При виході на ринок потрібно рекламувати кращий функціонал створеного продукту, встановлювати конкурентоспроможні ціни, та доводити свою надійність.

На основі аналізу конкуренції, проведеного у таблиці 6.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 6.2) та факторів маркетингового середовища (таблиці 6.6 і 6.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблицею 6.8, обґрунтування факторів за таблицею 6.9.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 6.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари замінники
Складові галузі	Розробники аналогічних систем	Кращі продукти, менші ціни	Кількість клієнтів важливіша, ніж постійна співпраця і затримування клієнтів	Відсутні. Є лише конкуренти аналогічних розробок
Висновки	Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів незначна	Наявні усі можливості входу на ринок. Потенційні конкуренти не виявлені	Існує цільова аудиторія застосунку, проектована система є достатньо гнучкою до змін цільової аудиторії.	Немає обмежень

Таблиця 6.9 – Обгрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обгрунтування
Невелика кількість конкурентів на ринку	На світовому ринку немає конкурентів, що має запропонований функціонал, є достатньо далекі аналоги, недостатньо схожі на проектовану систему.

Продовження таблиці 6.9

Доступність створеного продукту (програмно)	Кращі системні можливості забезпечать швидші та більш точні результати.
Легкість і простота використання	Простий зрозумілий інтерфейс, створені довідка та інструкція для користувача.
Підключення до мережі Інтернет	Є потреба у підключенні до Інтернет.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (Strength, Weak, Opportunities, Troubles) (таблиця 6.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 6.10 – SWOT-аналіз проекту

Сильні сторони (S): - невелика кількість виконавців; - невелика кількість працівників; - гнучкий устрій команди; - гнучкість продукту до змін у цільовій аудиторії; - відсутність функціоналу у конкурентів; - інноваційні технології.	Слабкі сторони (W): - брак контент-менеджменту; - недостатньо оборотних коштів; - відсутність репутації компанії.

Продовження таблиці 6.10

Можливості (O): - додаткові послуги; - вихід на нові ринки; - розширення клієнтської бази; - співробітництво з іншими компаніями для розширення можливостей користувачів.	Загрози (T): - поява нових конкурентів; - зміни тенденцій попиту; - зниження репутації компанії.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 6.11).

Таблиця 6.11 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Реалізація продукту для іншої компанії у якості аутсорсингу	Пошук інвесторів	6+ місяців, зміна таргетингу.
Реалізація технології як сервісу	Пошук інвесторів	6+ місяців, зміна таргетингу.
Продаж технології існуючим AR компаніям	Пошук інвесторів	3-6+ місяців, зміна таргетингу.

Спочатку необхідно вивести на основний ринок розроблену систему, а вже потім шукати можливості розширення програмного функціоналу для

користувачів і можливості розширення інноваційного продукту у інших напрямках практичного використання.

6.4 Розроблення ринкової стратегії

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, які визначені у таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в сегменті	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Діти дошкільного віку	Потребують	Попит є	Присутня	Помірно
Діти шкільного віку (середня школа)	Потребують	Попит є	Незначна	Помірно
Діти шкільного віку (старша школа)	Не потребують	Попит є	Відсутня	Потрібно зацікавити аудиторію

Для просування продукту на ринці мобільних застосунків пропонується використання масового маркетингу і співробітництва з закладами міста, медіа та освітніми закладами для створення сумісних програм. Заклади міста можуть бути спонсорами застосунку, їх зацікавленість буде полягати у рекламуванні власних брендів у рамках маршрутів застоосунку, отримування більшої кількості відвідувачів.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, яка визначається у таблиці 6.13.

Вибір стратегії конкурентної поведінки визначається у таблиці 6.14.

Таблиця 6.13 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Співпраця з локальними закладами для просування продукту	Стратегія спеціалізації	Надання товару відмінних якостей, які роблять систему особливою на фоні аналогічних розробок	Стратегія спеціалізації
Вихід на нові ринки (зміна локалізації, зміна аудиторії)	Стратегія диференціації	Створення подібних продуктів для іншої цільової аудиторії	Стратегія диференціації

Таблиця 6.14 – Визначення базової конкурентної поведінки

Чи є проект «першопроходцем» на ринку	Так, на світовому і локальному.
Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Так.

Продовження таблиці 6.14

Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Так, успішні моделі організації досвіду користувача в AR.
Стратегія конкурентної поведінки	Стратегія захвату ринкової ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 6.15), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку або проект.

Таблиця 6.15 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Доступна ціна, простота і зручність використання, універсальність, таргетинг на дитячу аудиторію	Стратегія спеціалізації	Вирішення важливих поставлених задач швидко, легко та зрозуміло навіть без інструкцій. Легкість і простота у використанні.	– стандарти якості – метрики ПЗ – ASQAS - automated system of quality assessment software

Результатом є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначатиме напрями роботи стартап-компанії на ринку.

Отже, робота стартап-компанії на ринку повинна бути спланована орієнтовано таким чином: за стратегією спеціалізації виконаний і буде поширюватись товар відмінний за властивостями від своїх аналогів, дотримуючись у конкурентній поведінці стратегії захвату ринкової ніші.

Далі наведена розроблена трирівнева маркетингова модель товару: уточняються ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 6.17).

6.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.16 підсумовані результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.16 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Оцінка якості ПП	Зацікавлення дитячої аудиторії у проведенні часу на вулиці, активним чином; освітня та ігрова складова для різних вікових категорій дітей.	Можливість створення маршрутів і квестів містом і всередині будівель з будь-яким користувацьким контентом, безперебійний досвід AR, робота AR у приміщенні, інтерактивність, гейміфікація освіти.

Таблиця 6.17 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Створення маршрутів і квестів містом і в будівлі в доповненії реальності. Здійснення інтерактивної взаємодії з користувачем у доповненій реальності на точках інтеракції шляхом демострації відео, гри, зображень, аудіо тощо. Конфігурація контенту маршрутів онлайн. Зміна контенту за потребою у реальному часі.
Реалізований товар	Реалізовано створення маршрутів і квестів містом і в будівлі в доповненії реальності. Реалізовано здійснення інтерактивної взаємодії з користувачем у доповненій реальності на точках інтеракції шляхом демострації відео, гри, зображень, аудіо тощо. Реалізовано конфігурацію контенту маршрутів онлайн. Реалізовано зміну контенту за потребою у реальному часі.
	Якість: тестування пройшло задовільно
	До продажу: застосунок AR-гра для дітей для активного проведення часу на вулиці і гейміфікованого навчання, що використовує розроблений метод опису об’єктів доповненої реальності.
	Після продажу: розширення контенту, створення нових маршрутів, освітніх пакетів.

Визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, передбачає оцінку вартості робіт командою, що буде

реалізовувати продукт, аналіз рівню доходів цільової аудиторії. Оскільки цільова аудиторія – діти, оцінюються межі вартості навчання у школі, наприклад, для локального ринку. [35]

Таблиця 6.18 – Визначення меж встановлення ціни

Собівартість розробки	Рамки ціни навчання	Верхня та нижня межі встановлення ціни
$100000	Безкоштовно - $24000/рік	$10 за навчальний пакет

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 6.19): проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників, вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту, вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.19 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Найбільш зацікавлює інтерактивний контент з великою кількістю графічної інформації, активностей.	Велика кількість графічного та аудіо-контенту, продуманість сюжетів у навчальних пакетах і загально у грі.	Нульовий рівень: тільки виробник	Вертикальна маркетингова система

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки цільової аудиторії. (таблиця 6.20).

Таблиця 6.20 – Концепція маркетингових комунікацій цільової аудиторії

Поведінка цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
Бажання отримати більше за менші гроші	Будь-які, але бажано з великою кількістю візуального контенту	Низька ціна Широкий вибір функціоналу Легкий і простий у використанні та інтеграції продукт	Донести до користувача суть продукту, його якість, та залучити якомога більше зацікавлених клієнтів

Висновки до розділу

Огляд сучасних ринків застосунків доповненої реальності демонструє позитивну динаміку. Застосунки доповненої реальності розвиваються у різних напрямках, більшість з застосунків – ігри, проте є і інші сегменти.

Розроблену мову опису об’єктів доповненої реальності було вирішено розвивати як частину власного продукту для доповненої реальності. Оптимізації, які привносить мова опису доповненої рельності, позитивно повпливають на досвід користувача і загалом можуть повпливати на те, чи залишатиматься користувач у застосунку протягом довгого часу. Власний продукт являє собою застосунок-гру для дітей, головна ціль якого – зацікавити дитячу аудиторію більше часу проводити на вулиці, здійснюючи цікаві активності-маршрути і також гейміфікованим чином отримувати освітню інформацію.

Було описано маркетингову стратегію розробки стартап-проекту, оцінено ризики, конкурентне середовище тощо. Маркетингове дослідження демонструє позитивне становище стартап-проекту.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було запропоновано оптимізовану мову опису об’єктів доповненої реальності.

Було досліджено технології побудови застосунків доповненої реальності. Було розглянуто сучасні проблеми застосунків доповненої реальності та їх вплив на аудиторію мобільних застосунків. Було розглянуто існуючі мови опису об’єктів доповненої реальності, зокрема стандарт ARML. Було проаналізовано переваги і недоліки існуючих мов. Загалом, мови відрізняються наявністю тих чи інших можливостей опису даних об'єктів доповненої реальності, проте всі вони мають у основі XML.

Було розглянуто засіб оптимізувати мову опису доповненої реальності шляхом зміни основи опису даних. Було вирішено провести експериментальне дослідження швидкодії існуючих форматів серіалізації та десеріалізації, щоб порівняти швидкість з XML. Найкращим за швидкістю серіалізації та десеріалізації виявився формат опису даних ProtoBuf. У результаті експеримету було вирішено надалі спробувати використання цього формату даних як основу мови опису об’єктів доповненої реальності. Щодо розширення можливостей мови для потреб сучасних застосунків, було розглянуто методи побудови сцен у популярних методах Unity та Unreal Engine. На основі цих методів було побудовано семантичні мережі опису сцени і її об’єктів.

Розроблені семантичні мережі було використано надалі для розробки оптимізованої мови опису об’єктів доповненої реальності. Було запропоновано опис сцени і її складових на основі проведених досліджень. Було описано критерій оптимізації – швидкість серіалізації/десеріалізації даних.

Було розроблено програмне забезпечення, яке використовує запропоновану мову опису об’єктів доповненої реальності. Загалом система використовує архітектуру клієнт-сервер, де сервером виступає хмарне рішення Firebase Realtime Database, а клєнт є мобільним затосунком доповненої реальності, побудований з фреймворком Unity та AR Foundation.

Для дослідження оптимізації, а саме швидкодії методів для різної кількості об’єктів і різної складності об’єктів, що серіалізуються та десеріалізуються, було виконано тест-сценарії. Результати виконання тест-сценаріїв було задокументовано і представлено у вигляді таблиць та графіків. Запропонована мова опису об’єктів доповненої реальності демонструє покращення швидкодії у порівнянні з поточним стандартом ARML.

Було запропоновано впровадження інноваційного продукту як частини стартап-продукту, було описано стратегію просування продукту на ринці, описано маркетингову стратегію.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1) A Comparison Of Serialization Formats [Електронний ресурс]: (Стаття) / Mbedded. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://blog.mbedded.ninja/programming/serialization-formats/a-comparison-of-serialization-formats/
2) A survey of XML languages for augmented reality content [Електронний ресурс]: (Стаття) / SemanticScholar. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://pdfs.semanticscholar.org/9102/5f1ceba10ce374e2831158ea0cf1743efb10.pdf – Назва з екрана.
3) Apple [Електронний ресурс]: (Стаття) / Apple. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.apple.com
4) AR Foundation [Електронний ресурс]: (Стаття) / Unity. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@2.2/manual/index.html
5) ARCore [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developers.google.com/ar
6) ARKit [Електронний ресурс]: (Стаття) / Apple. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developer.apple.com/augmented-reality/
7) ARML [Електронний ресурс]: (Стаття) / OCG. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases/1473 – Назва з екрана.
8) Augmented Reality [Електронний ресурс]: (Стаття) / Netguru. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу:

https://www.netguru.com/blog/augmented-reality-mobile-android – Назва з екрана.

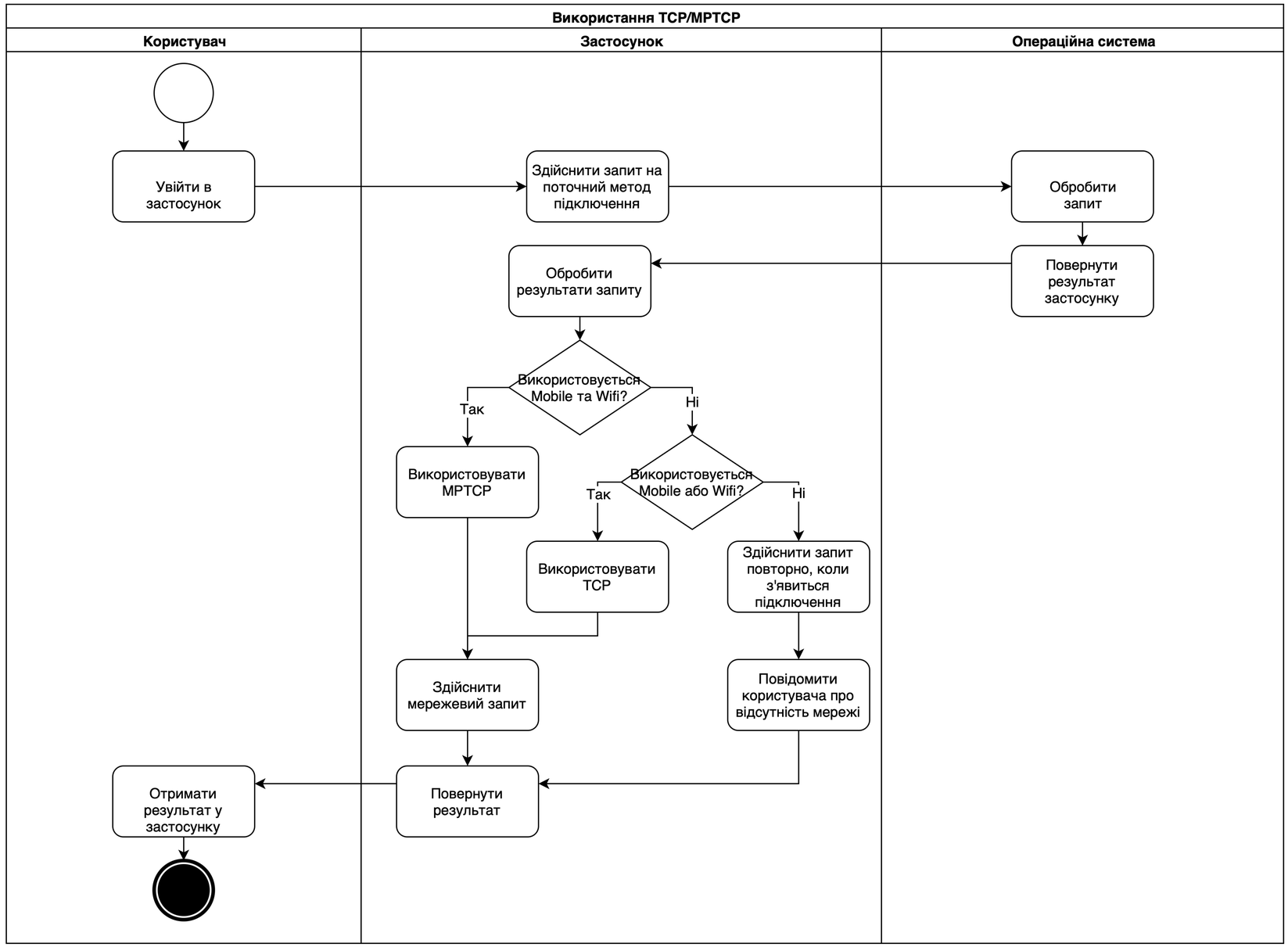
9) Axon, Samuel (September 27, 2016). "Unity at 10: For better—or worse—game development has never been easier". Ars Technica. Archived from the original on October 5, 2018. Retrieved October 17, 2018.
10) Challenges you can face in AR mobile development [Електронний ресурс]: (Стаття) / NewGenApps. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.newgenapps.com/blog/challenges-you-can-face-in-ar-mobile-app-development
11) CSV [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc4180
12) ECMAScript [Електронний ресурс]: (Стаття) / ECMA International. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm
13) Firebase [Електронний ресурс]: (Стаття) / Firebase. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://firebase.google.com
14) Geography Markup Language [Електронний ресурс]: (Стаття) / Orangeospatial. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.opengeospatial.org/standards/gml
15) Google [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.google.com.ua/
16) Google Earth [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.google.com/intl/ru/earth/
17) GPS [Електронний ресурс]: (Стаття) / GPS. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/
18) HTML [Електронний ресурс]: (Стаття) / W3Org. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.w3.org/TR/html52/
19) JSON [Електронний ресурс]: (Стаття) / JSON. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.json.org/json-en.html

20) JSON vs XML A Comparative Performance Analysis of Data Exchange Formats [Електронний ресурс]: (Стаття) / IJCSN. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: http://ijcsn.org/IJCSN-2014/3-4/JSON-vs-XML-A-Comparative-Performance-Analysis-of-Data-Exchange-Formats.pdf – Назва з екрана.
21) Junaio [Електронний ресурс]: (Стаття) / Junaio. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: http://www.junaio.com
22) KARML [Електронний ресурс]: (Стаття) / KHARMA. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: http://kharma.gatech.edu/content/karml-reference.html
23) KML [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developers.google.com/kml/documentation/kmlreference
24) ProtoBuf [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developers.google.com/protocol-buffers
25) Roussopoulos N.D. A semantic network model of data bases. — TR No 104, Department of Computer Science, University of Toronto, 1976.
26) TOML [Електронний ресурс]: (Стаття) / GitHub. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://github.com/toml-lang/toml
27) Unity [Електронний ресурс]: (Стаття) / Unity. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://unity.com
28) Unreal Engine [Електронний ресурс]: (Стаття) / Unreal Engine. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.unrealengine.com/en-US/
29) What is the difference between marker-based AR and markerless AR [Електронний ресурс]: (Стаття) / Medium. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://medium.com/@kumar.ahir/what-is-the-difference-between-marker-based-and-markerless-ar-192fb9fa09c5

30) Wu, Hsin-Kai; Lee, Silvia Wen-Yu; Chang, Hsin-Yi; Liang, Jyh-Chong (March 2013). "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education". Computers & Education. 62: 41–49
31) XML [Електронний ресурс]: (Стаття) / W3Org. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/
32) YAML [Електронний ресурс]: (Стаття) / YAML. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://yaml.org
33) Бенчмарк як тест продуктивності [Електронний ресурс]: (Стаття) / SemanticScholar. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://intellect.icu/test-proizvoditelnosti-benchmark-parametry-otsenki-proizvoditelnosti-serverov-4709
34) Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень : Навчальний посібник. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. — 341 с. Архів оригіналу за 7 жовтень 2009. Процитовано 7 жовтень 2009.
35) Часні школи Києва [Електронний ресурс]: (Стаття) / NV.ua. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://nv.ua/ukraine/events/uchitsya-nado-12-samyh-izvestnyh-chastnyh-shkol-kieva-i-stoimost-obucheniya-v-nih-50004573.html

ДОДАТОК А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі



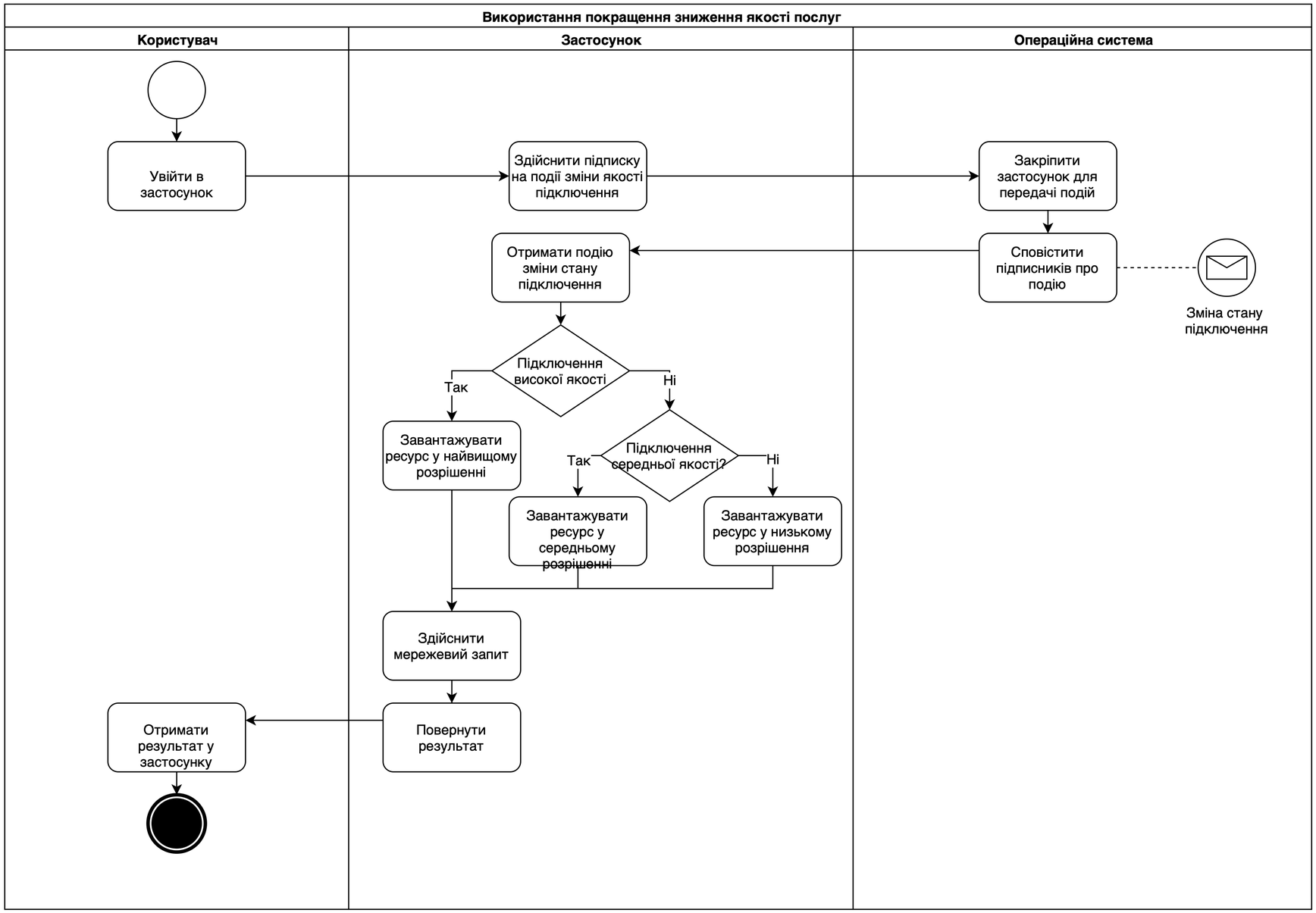
Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі

Виконала студентка гр. ІП-82мп Іванова Л.А..

Керівник Олійник Ю.О.

Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості



Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості

Виконала студентка гр. ІП-82мп Іванова Л.А..

Керівник Олійник Ю.О.